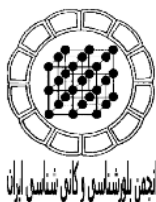
مجله بلورشناسی و کانی شناسی ایران

سال بیست و هفتم، شمارهٔ دوم، تابستان ۹۸، از صفحهٔ ۳۸۵ تا ۴۰۰



بررسی‌شیمی کانی و تعیین خاستگاه تورمالین‌های ناحیه ملاطالب (شمال الیگودرز- ایران)

سید وحید شاهرخی*، حسین دلفانی

گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم پایه، واحد خرم‌آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، خرم‌آباد، ایران

(دریافت مقاله: ۹۷/۳/۱، نسخه نهایی: ۹۷/۷/۱۴)

چکیده: ناحیه ملاطالب در شمال شهرستان الیگودرز و در پهنه دگرگونه سنندج-سیرجان قرار دارد. قدیمی‌ترین نهشته‌های موجود شامل توالی نسبتاً یکنواخت اسلیت و شیست با رگه و رگچه‌های سیلیسی به همراه هورنفلس‌های سیاه رنگ و ماسه‌سنگ‌های دگرگون‌شده است. پیدایش و نفوذ توده‌های گرانیتوئیدی ناحیه الیگودرز در زمان ژوراسیک میانی در درون شیست‌ها مهمترین رخداد زمین‌شناسی در این ناحیه است. تجزیه به روش ریزپردازش الکترونی (نقطه‌ای) از تورمالین‌های موجود در پگماتیت‌ها، رگه‌های آپلیتی-پگماتیتی تورمالین‌دار، تورمالین‌های گرهکی و رگه‌های کوارتز-تورمالین نشان می‌دهد که همه تورمالین‌ها در گستره بین شورل-فوئیتیت با تمرکز بیشتر در منطقه شورلیت قرار گرفته‌اند. رخدادهای متعدد و فراوان تورمالین در واحد گرانیتی، خودشکلی و عدم وجود پهنه‌بندی شیمیائی، بالا بودن مقدار Al و Fe/Fe+Mg، و همچنین تهیجای X در تورمالین‌ها قابل مشاهده بوده و بیانگر ماگمایی بودن آنهاست. بنابراین تورمالین‌های مورد بررسی وابسته به محیط‌های گرانیتی بوده و بوسیله یک سیال گرمابی با خاستگاه ماگمایی بوجود آمده‌اند.

واژه‌های کلیدی: *تورمالین؛ گرانیت؛ تجزیه ریزپردازشی؛ ملاطالب؛ الیگودرز؛ پهنه سنندج-سیرجان.*

مقدمه

تورمالین در انواع سنگ‌های آذرین، رسوبی و دگرگونی به عنوان یک کانی رایج فرعی قابل مشاهده است و در سنگ‌های گرانیتی و پگماتیتی به عنوان کانی اولیه [۲،۱] محسوب می‌شود. همچنین تبلور این کانی می‌تواند در شرایط انتقال از مرحله زیرانجماد تأخیری ماگمایی تا زیرانجماد آغازی صورت گیرد [۳]. این کانی به دلیل دارا بودن ترکیب شیمیایی پیچیده و متنوع و پایداری در گستره وسیعی از دماها و فشارها در بررسی‌های سنگ‌شناسی اهمیت ویژه‌ای دارد [۵،۴]. پیچیدگی ترکیب شیمیایی و توانایی بسیار بالای تورمالین برای جایگزینی عناصر مختلف در ساختار خود منجر به افزایش مقاومت و پایداری کانی تورمالین در دماها و فشارهای متغیر شده است. به همین دلیل می‌توان از کانی تورمالین به منظور تشخیص ترکیب زمین‌شیمیائی و جایگاه زمین‌شناسی سنگ‌های میزبان استفاده نمود [۶- ۹]. به منظور بررسی شرایط تشکیل و پایداری تورمالین و ترکیب کلی سنگ میزبان و سایر کانی‌های همراه مطالعه عوامل مختلف چون دما، فشار، گریزندگی اکسیژن، مقدار بور، قلیائیت و فعالیت عناصری همانند Ti، Mg، Fe، Al و H_2O اهمیت ویژه‌ای دارند [۱۱،۱۰]. بر اساس ویژگی‌های نوری مانند رنگ، چندرنگی، سختی و ترکیب شیمیایی پنج خاستگاه احتمالی گرانیتی، پگماتیتی، پگماتیت‌های تزریق شده در نواحی دگرگونی، تورمالین‌های خودزا رسوبی و تورمالین‌های نواحی قدیمی‌تر برای تورمالین پیشنهاد شده‌اند [۱۲]. همچنین می‌توان براساس نوع سنگ میزبان در بسیاری از عناصر کمیاب موجود در کانی تورمالین تغییراتی اصولی مشاهده کرد [۱۳]. همچنین بررسی‌های انجام شده بر تورمالین‌های ناحیه بروجرد [۱۴]، دهگاه- سرسختی [۱۵]، مجموعه ژرف توده‌ای الوند [۱۶]،

*نویسنده مسئول، تلفن: ۱۹-۱۱۰۰۲۱۲۳۳-۰۶۶، پست الکترونیکی: Vahid.Shahrokhi@Gmail.com

[Downloaded from ijcm.ir on 2025-03-18]

[DOI: 10.29252/ijcm.27.2.385]

پگماتیت‌های گنجنامه و منگاوی [۱۷، ۱۸] و ناحیه آدربا در شمال شرقی گلپایگان [۱۹] واقع در پهنه سنندج-سیرجان نشانگر وجود تورمالین‌هایی از نوع شورلیت فاقد پهنه‌بندی شیمیایی و از نوع ماگمایی است. منصوری اصفهانی و همکارش [۲۰] تورمالین‌های ناحیه ملاطالب را از نوع دراویت دانسته و آنها را وابسته به مجموعه‌های دگرگونی و یا دگرنهادی می‌دانند. همچنین بر اساس بررسی‌های انجام شده، تورمالین‌های ناحیه ژان واقع در ۳۸ کیلومتری شرق ملاطالب دارای پهنه‌بندی شیمیایی و از نوع شورلیت هستند و خاستگاه ماگمایی دارند [۲۱].

در این پژوهش، با استفاده از نتایج تجزیه‌های ریزپردازش الکترونی، ترکیب تورمالین در سنگ‌های متنوع ناحیه ملاطالب بررسی شده و نوع و خاستگاه آنها در واحدهای مختلف تورمالین دار تعیین شده است.

روش بررسی

برای تعیین ترکیب، نوع و خاستگاه تورمالین در واحدهای مختلف تورمالین‌دار ناحیه ملاطالب، تعداد ۱۲ نمونه از گرهک‌های تورمالین‌دار، رگه‌های تورمالین‌دار، رگه‌های آپلیتی و پگماتیت‌های ناحیه ملاطالب برداشت شد. پس از بررسی سنگ‌نگاری و کانی‌شناسی مقاطع نازک-صیقلی تهیه شده از این نمونه‌ها، تعداد ۸ مقطع برای تجزیه به روش ریزپردازش الکترونی انتخاب شد. به منظور بررسی شیمی کانی تورمالین‌ها تعداد ۴۰ نقطه از واحدهای مختلف تورمالین‌دار با استفاده از دستگاه CAMECA-SX-100 و استانداردهای مختلف برای ۱۲ عنصر در آزمایشگاه ریزپردازش الکترونی مرکز تحقیقات فرآوری مواد معدنی ایران تجزیه (نقطه‌ای) شدند. ولتاژ شتاب‌دهنده دستگاه ۱۵ کیلو الکترون ولت و شدت جریان ۲۰ نانو آمپر بوده است. استانداردهای ژادئیت سیلیکاتی برای سدیم، انستاتیت برای منیزیم، فایالیت برای آهن و منگنز، آپاتیت برای فسفر، ولاستونیت برای کلسیم، فلدسپار قلیایی برای سدیم و آلومینیوم استفاده شدند.

خطای نسبی آنالیز برای عناصر اصلی ۱٪ و برای عناصر فرعی ۵٪ است. فرمول ساختاری براساس ۳۱ اکسیژن، با فرض مقدار تناسب عنصری H_2O به صورت OH، یعنی $OH+F = 4$ apfu محاسبه شد. در صورت نبود هیچ جای خالی در جایگاه‌های هشت وجهی داریم $Li = 15 - (T+Z+Y)$ که مقدار Li که به جایگاه بلورشناسی Y اختصاص دارد از مجموع آزمانی کاتیون‌هایی که مکان‌های $T + Z + Y = 15$ را اشغال می‌کنند، کسر شده است [۷]. کاتیون‌های آهن و منگنز بر پایه بررسی‌های ساختار بلوری تورمالین، دو ظرفیتی در نظر گرفته شدند، زیرا این بررسی‌ها نشان داده‌اند که این متداول‌ترین ظرفیت منگنز و آهن در تورمالین است [۲۲] (جدول ۱).

بحث و بررسی

زمین‌شناسی عمومی

منطقه ملاطالب در شمال شرق استان لرستان و در شمال شهرستان الیگودرز بین طول‌های جغرافیایی '۳۷ °۴۹ تا '۳۹ °۴۹ شرقی و عرض‌های جغرافیایی '۳۱ °۳۳ تا '۳۳ °۳۳ شمالی و در برگه ۱/۱۰۰۰۰۰ ورچه واقع است (شکل ۱). این منطقه از دیدگاه زمین‌شناسی ساختاری بخشی از پهنه سنندج- سیرجان است [۲۳] و در زیر پهنه بیستون شامل کربنات‌های محیط کم عمق دریا از زمان تریاس پسین تا کرتاسه پسین قرار دارد [۲۴]. از دیدگاه سنگ‌شناسی، قدیمی‌ترین نهشته‌های موجود در این منطقه وابسته به تریاس پسین- ژوراسیک هستندکه با گسترش به نسبت فراوان از توالی نسبتاً یکنواخت اسلیت جهت یافته و اپیدوتی شده (Jmsl) و شیست‌های میکادار نیم‌رس با رگه و رگچه‌های سیلیسی و میکاشیست کوردیریت و سیلیمانیت‌دار (Jmsh) به همراه هورنفلس‌های سیاه رنگ و ماسه‌سنگ‌های دگرگون‌شده (Jms) تشکیل شده‌اند [۲۵]. به علت مشخص نبودن حد زیرین رسوبات تریاس پسین- ژوراسیک و تا حدودی بهم‌ریختگی زمین‌ساختی، دگرشکلی‌های متعدد و یکنواختی توالی رسوبات در مقیاس ناحیه‌ای، ضخامت این توالی و تغییرات جانبی لایه‌ها بطور دقیق قابل اندازه‌گیری نبوده و به راحتی قابل پی‌گیری نیست [۲۶]. با نفوذ ماگما طی ژوراسیک میانی (~165Ma) [۲۷، ۲۸] و شکل‌گیری توده گرانیتوئیدی، سنگ‌های اطراف متاثر شده و موجب گسترش هاله دگرگونی در محل تماس با توده نفوذی شده‌اند [۲۹]. بر این اساس، مهمترین رخداد زمین‌شناسی در این ناحیه، پیدایش توده‌های گرانیتوئیدی ناحیه الیگودرز در زمان ژوراسیک میانی است که درون شیست‌ها نفوذ کرده و باعث ایجاد مقدار کمی هورنفلس و شیست‌های لکه‌دار در این ناحیه شده است [۳۰، ۲۶]. بر اساس سن‌سنجی انجام شده به روش U-Pb بر کانی زیرکون [۲۷، ۲۸] به نظر می‌رسد که پیدایش این توده گرانیتوئیدی همزمان با توده‌های گرانیتوئیدی بروجرد [۳۱، ۳۲]، آستانه

[Downloaded from ijcm.ir on 2025-03-18]
[DOI: 10.29252/ijcm.27.2.385]

[۳۳، ۳۴] و الوند [۱۶] در زمان ژوراسیک میانی باشد که درون فیلیت‌ها نفوذ کرده و باعث ایجاد دگرگونی مجاورتی شده است که با شیست‌های لکه‌دار شروع و به هورنفلس‌ها و میگماتیت‌ها ختم می‌شود. بررسی‌های انجام شده نشان می‌دهد که گرانیتوئیدهای ناحیه ملاطالب آهن‌دار، پرآلومین تا کمی آلومین و آهکی قلیایی تا حدودی قلیایی و از نوع A هستند [۳۵]. از طرف دیگر، بازدیدهای صحرایی، سیماهای سنگ‌نگاری و بررسی‌های زمین شیمی نشان می‌دهد که گرانیتوئیدهای این منطقه از نوع A دوم نوع دوم بوده و ویژگی‌های آهکی قلیایی و قلیایی را همزمان دارا هستند [۳۶] (شکل ۱).

جدول ۱ نتایج تجزیه ریزپردازشی تورمالین‌های موجود در سنگ‌های مختلف ناحیه ملاطالب بر اساس ۳۱ آنیون تورمالین موجود در پگماتیت‌ها (■)، رگه های آپلیتی-پگماتیتی تورمالین‌دار (▲)، تورمالین‌های گرهکی (●)،رگه‌های کوارتز- تورمالین (◆).

شماره نمونه	۱ ■	۲ ■	۳ ■	۴ ■	۵ ■	۶ ■	۷ ■	۸ ■	۹ ■	۱۰ ■
SiO_2	۳۴٫۷۴	۳۵٫۱۸	۳۵٫۳۸	۳۵٫۵۷	۳۵٫۷۰	۳۵٫۲۹	۳۴٫۹۵	۳۵٫۲۳	۳۵٫۳۵	۳۵٫۰۱
TiO_2	۰٫۱۶	۰٫۴۶	۰٫۷۱	۰٫۷۰	۰٫۷۵	۰٫۱۸	۰٫۸۷	۰٫۸۵	۰٫۸۵	۰٫۸۱
$Al2O_3$	۳۵٫۴۵	۳۴٫۵۲	۳۴٫۳۱	۳۴٫۲۷	۳۵٫۱۳	۳۵٫۰۲	۳۴٫۵۹	۳۴٫۷۹	۳۵٫۱۳	۳۵٫۳۶
FeO	۱۳٫۱۳	۱۳٫۱۶	۱۳٫۰۵	۱۳٫۳۷	۱۳٫۴۰	۱۳٫۳۵	۱۳٫۴۹	۱۳٫۲۳	۱۳٫۴۴	۱۳٫۴۳
MgO	۰٫۶۵	۰٫۶۶	۰٫۶۹	۰٫۵۶	۰٫۶۴	۰٫۶۰	۰٫۷۵	۰٫۹۶	۰٫۶۶	۰٫۶۲
CaO	۰٫۱۸	۰٫۲۱	۰٫۲۰	۰٫۱۸	۰٫۱۷	۰٫۲۱	۰٫۲۱	۰٫۲۳	۰٫۲۲	۰٫۲۵
MnO	۰٫۱۳	۰٫۱۴	۰٫۱۶	۰٫۱۶	۰٫۱۷	۰٫۱۸	۰٫۱۷	۰٫۱۶	۰٫۱۵	۰٫۱۴
Na_2O	۱٫۶۳	۱٫۴۸	۱٫۵۲	۰٫۶۱	۱٫۵۴	۱٫۵۷	۱٫۴۱	۱٫۳۹	۱٫۵۶	۱٫۷۶
K_2O	۰٫۰۴	۰٫۰۴	۰٫۰۶	۰٫۰۵	۰٫۰۵	۰٫۰۵	۰٫۰۳	۰٫۰۵	۰٫۰۴	۰٫۰۵
مجموع	۸۶٫۱	۸۵٫۸۶	۸۶٫۰۹	۸۶٫۴۸	۸۷٫۵۸	۸۵٫۴۸	۸۶٫۴۷	۸۶٫۶۹	۸۷٫۴۲	۸۷٫۵۰
Si	۵٫۸۲	۵٫۹۰	۵٫۹۲۵	۵٫۹۴۰	۵٫۸۸۰	۵٫۸۰۳	۵٫۸۰۳	۵٫۸۶۸	۵٫۸۴۴	۵٫۷۹۷
Ti	۰٫۰۲	۰٫۰۵۸	۰٫۰۸۹	۰٫۰۸۸	۰٫۰۹۳	۰٫۰۲۳	۰٫۰۲۳	۰٫۱۰۶	۰٫۱۰۶	۰٫۱۰۱
Al	۶٫۹۹	۶٫۸۳۳	۶٫۷۷۲	۶٫۷۴۵	۶٫۸۲۴	۶٫۹۸۵	۶٫۹۸۵	۶٫۸۲۹	۶٫۸۴۴	۶٫۸۹۵
Fe^{2+}	۱٫۸۳	۱٫۸۴۸	۱٫۸۲۸	۱٫۸۶۷	۱٫۸۴۷	۱٫۸۸۹	۱٫۸۸۹	۱٫۸۴۳	۱٫۸۵۸	۱٫۸۵۸
Mg	۰٫۱۶۲	۰٫۱۶۵	۰٫۱۷۲	۰٫۱۳۹	۰٫۱۵۷	۰٫۱۵۱	۰٫۱۵۱	۰٫۱۷۱	۰٫۱۶۳	۰٫۱۵۳
Mn	۰٫۰۱۸	۰٫۰۲۰	۰٫۰۲۳	۰٫۰۲۳	۰٫۰۲۴	۰٫۰۲۶	۰٫۰۲۶	۰٫۰۲۳	۰٫۰۲۱	۰٫۰۲۰
Ca	۰٫۰۳۲	۰٫۰۳۸	۰٫۰۳۶	۰٫۰۳۲	۰٫۰۳۰	۰٫۰۳۸	۰٫۰۳۸	۰٫۰۴۱	۰٫۰۳۹	۰٫۰۴۴
Na	۰٫۵۲۹	۰٫۴۸۲	۰٫۴۹۴	۰٫۵۲۱	۰٫۴۹۲	۰٫۵۱۵	۰٫۵۱۵	۰٫۴۴۹	۰٫۵۰۰	۰٫۵۶۵
K	۰٫۰۰۹	۰٫۰۰۹	۰٫۰۱۳	۰٫۰۱۱	۰٫۰۱۱	۰٫۰۱۱	۰٫۰۱۱	۰٫۰۱۱	۰٫۰۰۸	۰٫۰۴۴
FeO+MgO	۱۳٫۷۸	۱۳٫۸۲	۱۳٫۷۴	۱۳٫۹۳	۱۴٫۰۴	۱۳٫۹۵	۱۳٫۹۵	۱۳٫۹۲	۱۴٫۱۰	۱۴٫۰۵
FeO/FeO+MgO	۰٫۹۵	۰٫۹۵۲	۰٫۹۴۹	۰٫۹۵۹	۰٫۹۳۰	۰٫۹۵۶	۰٫۶۵۶	۰٫۹۵۰	۰٫۹۵۳	۰٫۹۵۵
X_{site}	۰٫۵۷	۰٫۵۲۹	۰٫۵۴۳	۰٫۵۶۴	۰٫۵۳۳	۰٫۵۶۴	۰٫۵۶۴	۰٫۵۰۱	۰٫۵۴۷	۰٫۶۲۰
X_{vac}	۰٫۴۳	۰٫۴۷۱	۰٫۴۵۷	۰٫۴۶۳	۰٫۴۶۷	۰٫۴۳۶	۰٫۴۳۶	۰٫۴۹۹	۰٫۴۵۳	۰٫۳۸۰
Na+K	۰٫۵۳۸	۰٫۴۹۱	۰٫۵۰۷	۰٫۵۳۲	۰٫۵۰۳	۰٫۵۲۶	۰٫۵۲۶	۰٫۴۶۰	۰٫۵۰۸	۰٫۵۷۶
X_{vac}+Na	۰٫۹۵۹	۰٫۹۵۳	۰٫۹۵۱	۰٫۹۸۴	۰٫۹۵۹	۰٫۹۵۱	۰٫۹۵۱	۰٫۹۴۸	۰٫۹۵۳	۰٫۹۴۵
X_{vac}/X_{vac}+Na	۰٫۴۴	۰٫۴۹۲	۰٫۴۸۰	۰٫۴۷۰	۰٫۴۸۶	۰٫۴۵۸	۰٫۴۵۸	۰٫۵۲۶	۰٫۴۷۵	۰٫۴۰۲
Mg/Mg+Fe	۰٫۰۸۱	۰٫۰۸۲	۰٫۰۸۶	۰٫۰۶۹	۰٫۰۷۸	۰٫۰۷۴	۰٫۰۷۴	۰٫۰۸۴	۰٫۰۸۰	۰٫۰۷۶
Al in R2	۰٫۸۱۹	۰٫۷۴۱	۰٫۶۹۷	۰٫۶۸۵	۰٫۷۰۸	۰٫۷۸۷	۰٫۷۸۷	۰٫۶۹۷	۰٫۶۸۸	۰٫۶۹۲
R2*	۲٫۸۲۹	۲٫۷۷۴	۰٫۷۲۰	۲٫۷۱۴	۲٫۷۳۶	۲٫۸۵۳	۲٫۸۵۳	۲٫۷۳۴	۲٫۷۳۰	۲٫۷۲۳
Fe/Fe+Mg	۰٫۹۱۸	۰٫۹۱۸	۰٫۹۱۴	۰٫۹۳۰	۲٫۹۲۱	۰٫۹۲۵	۰٫۹۲۵	۰٫۹۱۵	۰٫۹۱۹	۰٫۹۲۳
R1=Na+Ca	۰٫۵۶۱	۰٫۵۲۰	۰٫۵۳۰	۰٫۵۵۳	۰٫۵۲۲	۰٫۵۵۳	۰٫۵۵۳	۰٫۴۹۰	۰٫۵۳۹	۰٫۶۰۹
R2=Fe^{tot}+Mg+Mn	۲٫۰۱	۲٫۰۳۳	۲٫۰۲۳	۲٫۰۲۹	۲٫۰۲۸	۲٫۰۶۶	۲٫۰۶۶	۲٫۰۳۷	۰٫۰۴۲	۲٫۰۳۱
R3=Al+1.33Ti	۷٫۰۱	۶٫۹۱۰	۶٫۸۹۰	۶٫۸۵۹	۶٫۹۴۷	۷٫۰۱۵	۷٫۰۱۵	۶٫۹۶۹	۶٫۹۸۴	۷٫۰۲۹
R1+R2	۲٫۵۷	۲٫۵۵۳	۲٫۵۵۳	۲٫۵۸۲	۲٫۵۵۰	۲٫۶۱۹	۲٫۶۱۹	۲٫۵۲۷	۲٫۵۸۱	۲٫۶۴۰
R2*+Al in R2	۳٫۶۴۸	۳٫۵۱۵	۳٫۴۱۷	۳٫۳۹۹	۳٫۴۴۴	۲٫۸۵۳	۲٫۸۵۳	۳٫۴۳۱	۳٫۴۱۸	۳٫۴۱۵

[Downloaded from ijcm.ir on 2025-03-18]

[DOI: 10.29252/ijcm.27.2.385]

ادامه جدول ۱

شماره نمونه	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵	۱۶	۱۷	۱۸	۱۹	۲۰
SiO_2	۳۴٫۵۸	۳۵٫۵۴	۳۵٫۵۷	۳۵٫۶۰	۳۵٫۶۹	۳۶٫۲۰	۳۵٫۸۲	۳۵٫۷۸	۳۵٫۶۴	۳۵٫۶۹
TiO_2	۰٫۸۵	۰٫۷۱	۰٫۰۰	۰٫۷۲	۰٫۵۵	۰٫۶۷	۰٫۶۶	۰٫۶۱	۰٫۶۷	۰٫۷۲
$Al2O_3$	۳۵٫۶۹	۳۴٫۷۰	۳۴٫۸۲	۳۴٫۵۸	۳۵٫۰۱	۳۴٫۹۰	۳۵٫۰۹	۳۴٫۷۴	۳۴٫۸۳	۳۴٫۸۱
FeO	۱۳٫۳۰	۱۳٫۵۹	۱۳٫۷۰	۱۳٫۶۷	۱۳٫۳۳	۱۳٫۲۴	۱۳٫۰۶	۱۳٫۰۰	۱۳٫۱۵	۱۳٫۰۸
MgO	۰٫۶۸	۰٫۶۱	۰٫۶۱	۰٫۶۱	۰٫۶۵	۰٫۸۲	۰٫۸۳	۰٫۸۷	۰٫۹۱	۰٫۸۵
CaO	۰٫۱۸	۰٫۲۰	۰٫۱۹	۰٫۱۶	۰٫۱۷	۰٫۱۵	۰٫۱۴	۰٫۱۶	۰٫۱۵	۰٫۱۶
MnO	۰٫۱۸	۰٫۱۵	۰٫۱۵	۰٫۱۷	۰٫۱۴	۰٫۲۰	۰٫۲۱	۰٫۲۳	۰٫۲۰	۰٫۱۹
Na_2O	۱٫۷۱	۱٫۵۶	۱٫۹۰	۱٫۴۹	۱٫۴۸	۱٫۵۴	۱٫۶۲	۱٫۵۷	۱٫۶۵	۱٫۵۶
K_2O	۰٫۰۵	۰٫۰۵	۰٫۰۵	۰٫۰۳	۰٫۰۵	۰٫۰۵	۰٫۰۴	۰٫۰۵	۰٫۰۴	۰٫۰۳
مجموع	۸۷٫۲۴	۸۷٫۱۲	۸۷٫۰۰	۸۷٫۰۵	۸۷٫۰۸	۸۷٫۸۰	۸۷٫۵۰	۸۷٫۰۳	۸۷٫۲۵	۸۷٫۰۹
Si	۵٫۷۳۵	۵٫۸۹۷	۵٫۹۱۸	۵٫۹۱۲	۵٫۹۰۸	۵٫۹۴۱	۵٫۹۲۴	۵٫۹۲۴	۵٫۸۹۲	۵٫۹۰۵
Ti	۰٫۱۰۶	۰٫۰۸۹	۰٫۰۰۰	۰٫۰۹۰	۰٫۰۶۸	۰٫۰۸۳	۰٫۰۷۶	۰٫۰۷۶	۰٫۰۸۳	۰٫۰۹۰
Al	۶٫۹۷۶	۶٫۷۸۶	۶٫۸۲۷	۶٫۷۶۸	۶٫۸۳۱	۶٫۷۵۱	۶٫۷۹۹	۶٫۷۷۹	۶٫۷۸۷	۶٫۷۸۸
Fe^{2+}	۱٫۸۴۵	۱٫۸۸۶	۱٫۹۰۶	۱٫۸۹۸	۱٫۸۴۵	۱٫۸۱۷	۱٫۸۰۰	۱٫۸۰۰	۱٫۸۱۸	۱٫۸۱۰
Mg	۰٫۱۶۸	۰٫۱۵۱	۰٫۱۵۱	۰٫۱۵۱	۰٫۱۶۰	۰٫۲۰۱	۰٫۲۱۵	۰٫۲۱۵	۰٫۲۲۴	۰٫۲۱۰
Mn	۰٫۰۲۵	۰٫۰۲۱	۰٫۰۲۱	۰٫۰۲۴	۰٫۰۲۰	۰٫۰۲۸	۰٫۰۳۲	۰٫۰۳۲	۰٫۰۲۸	۰٫۰۲۷
Ca	۰٫۰۳۲	۰٫۰۳۶	۰٫۰۳۴	۰٫۰۲۸	۰٫۰۳۰	۰٫۰۲۶	۰٫۰۲۸	۰٫۰۲۸	۰٫۰۲۷	۰٫۰۲۸
Na	۰٫۵۵۰	۰٫۵۰۲	۰٫۶۱۳	۰٫۴۸۰	۰٫۴۷۵	۰٫۴۹۰	۰٫۵۰۴	۰٫۵۰۴	۰٫۵۲۹	۰٫۵۰۰
K	۰٫۰۱۱	۰٫۰۱۱	۰٫۰۱۱	۰٫۰۰۶	۰٫۰۱۱	۰٫۰۱۰	۰٫۰۱۱	۰٫۰۱۱	۰٫۰۱۱	۰٫۰۰۸
FeO+MgO	۱۳٫۹۸	۱۴٫۲۰	۱۴٫۳۱	۱۴٫۲۸	۱۳٫۹۸	۱۴٫۰۸	۱۳٫۸۷	۱۳٫۸۷	۱۴٫۰۶	۱۳٫۹۳
FeO/FeO+MgO	۰٫۹۵۱	۰٫۹۵۷	۰٫۹۵۷	۰٫۹۵۷	۰٫۹۵۳	۰٫۹۴۰	۰٫۹۳۷	۰٫۹۳۷	۰٫۹۳۵	۰٫۹۳۸
X_{site}	۰٫۵۹۳	۰٫۵۴۹	۰٫۶۵۸	۰٫۵۱۴	۰٫۵۱۶	۰٫۵۲۶	۰٫۵۴۳	۰٫۵۴۳	۰٫۵۶۷	۰٫۵۳۶
X_{vac}	۰٫۴۰۷	۰٫۴۵۱	۰٫۳۴۲	۰٫۴۸۶	۰٫۴۸۴	۰٫۴۷۴	۰٫۴۵۷	۰٫۴۵۷	۰٫۴۳۳	۰٫۴۶۴
Na+K	۰٫۵۶۱	۰٫۵۱۳	۰٫۶۲۸	۰٫۴۸۶	۰٫۴۸۶	۰٫۵۰۰	۰٫۵۱۵	۰٫۵۱۵	۰٫۵۴۰	۰٫۵۰۸
X_{vac}+Na	۰٫۹۵۷	۰٫۹۵۳	۰٫۹۵۵	۰٫۹۶۶	۰٫۹۵۹	۰٫۹۷۴	۰٫۹۶۱	۰٫۹۶۱	۰٫۹۶۲	۰٫۹۶۴
X_{vac}/X_{vac}+Na	۰٫۴۲۵	۰٫۴۷۳	۰٫۳۵۸	۰٫۵۰۳	۰٫۵۰۴	۰٫۴۸۶	۰٫۴۷۵	۰٫۴۷۵	۰٫۴۵۰	۰٫۴۸۱
Mg/Mg+Fe	۰٫۰۸۳	۰٫۰۷۴	۰٫۰۷۳	۰٫۰۷۳	۰٫۰۷۹	۰٫۰۹۹	۰٫۱۰۶	۰٫۱۰۶	۰٫۱۰۹	۰٫۱۰۳
Al in R2	۰٫۷۲۱	۰٫۶۸۳	۰٫۷۴۵	۰٫۶۸۰	۰٫۷۳۹	۰٫۶۹۲	۰٫۷۰۲	۰٫۷۰۲	۰٫۶۹۷	۰٫۶۹۳
R2*	۲٫۷۵۹	۲٫۷۴۱	۲٫۸۲۳	۲٫۷۵۳	۰٫۷۶۴	۲٫۷۳۹	۲٫۷۴۹	۲٫۷۴۹	۲٫۷۶۷	۲٫۷۴۰
Fe/Fe+Mg	۰٫۹۱۶	۰٫۹۲۵	۰٫۹۲۶	۰٫۹۲۶	۰٫۹۲۰	۰٫۹۰۰	۰٫۸۹۳	۰٫۸۹۳	۰٫۸۹۸	۰٫۸۶۹
R1=Na+Ca	۰٫۵۸۲	۰٫۵۳۸	۰٫۹۴۷	۰٫۵۰۸	۰٫۵۰۵	۰٫۵۱۶	۰٫۵۱۵	۰٫۵۱۵	۰٫۵۴۰	۰٫۵۰۸
R2=Fe^{tot}+Mg+Mn	۲٫۰۳۸	۲٫۰۵۸	۲٫۰۷۸	۲٫۰۷۳	۰٫۰۲۵	۲٫۰۵۵	۰٫۰۴۷	۲٫۰۴۷	۲٫۰۷۰	۲٫۰۴۷
R3=Al+1.33Ti	۷٫۱۱۶	۶٫۹۰۰	۶٫۸۲۷	۶٫۸۸۷	۶٫۹۲۱	۶٫۸۶۱	۶٫۸۸۰	۶٫۸۸۰	۶٫۸۹۸	۶٫۹۰۰
R1+R2	۲٫۶۲۰	۲٫۵۶۹	۲٫۷۲۵	۲٫۵۸۱	۲٫۵۳۰	۲٫۵۷۱	۲٫۵۶۲	۲٫۵۶۲	۲٫۶۱۰	۰٫۵۵۰
R2*+Al in R2	۳٫۴۸۰	۳٫۴۲۴	۳٫۵۶۸	۳٫۴۳۳	۳٫۵۰۳	۳٫۴۳۱	۳٫۴۵۱	۳٫۴۵۱	۳٫۴۶۴	۳٫۴۳۳

[DOI: 10.29252/ijcm.27.2.385] [Downloaded from ijcm.ir on 2025-03-18]

ادامه جدول ۱

شماره نمونه	۲۱ ▲	۲۲ ▲	۲۳ ▲	۲۴ ▲	۲۵ ▲	۲۶ ▲	۲۷ ▲	۲۸ ▲	۲۹ ●	۳۰ ●
SiO_2	۳۶٫۶۰	۳۵٫۵۵	۳۵٫۸۵	۳۵٫۸۱	۳۵٫۶۶	۳۵٫۹۷	۳۵٫۹۷	۳۶٫۱۷	۳۴٫۸۰	۳۶٫۲۴
TiO_2	۱٫۰۵	۰٫۹۰	۰٫۶۷	۰٫۷۸	۰٫۷۲	۰٫۰۰	۰٫۷۳	۰٫۷۱	۰٫۴۰	۰٫۶۸
$Al2O_3$	۳۴٫۰۷	۳۴٫۴۹	۳۵٫۴۴	۳۴٫۵۴	۳۴٫۴۴	۳۴٫۴۵	۳۴٫۶۳	۳۴٫۹۳	۳۴٫۸۵	۳۵٫۴۴
FeO	۱۱٫۹۶	۱۱٫۹۹	۱۱٫۹۹	۱۱٫۸۶	۱۲٫۱۳	۱۲٫۳۷	۱۲٫۴۱	۱۲٫۲۱	۱۲٫۱۷	۱۱٫۷۹
MgO	۱٫۶۷	۱٫۶۱	۱٫۶۱	۱٫۶۳	۱٫۵۸	۱٫۸۵	۱٫۷۶	۱٫۸۳	۱٫۸۰	۲٫۱۸
CaO	۰٫۱۷	۰٫۲۲	۰٫۲۰	۰٫۱۸	۰٫۱۸	۰٫۲۰	۰٫۱۸	۰٫۲۰	۰٫۲۱	۰٫۲۵
MnO	۰٫۱۶	۰٫۱۷	۰٫۱۶	۰٫۱۷	۰٫۱۷	۰٫۱۵	۰٫۲۰	۰٫۱۹	۰٫۱۹	۰٫۱۶
Na_2O	۱٫۶۱	۱٫۵۵	۱٫۵۵	۱٫۵۴	۱٫۵۹	۱٫۵۳	۱٫۵۳	۱٫۵۶	۱٫۷۰	۱٫۶۶
K_2O	۰٫۰۴	۰٫۰۳	۰٫۰۵	۰٫۰۳	۰٫۰۵	۰٫۰۴	۰٫۰۳	۰٫۰۵	۰٫۰۳	۰٫۰۳
مجموع	۸۷٫۳۵	۸۶٫۵۴	۸۶٫۵۲	۸۶٫۵۵	۸۶٫۵۳	۸۶٫۶۰	۸۷٫۴۶	۸۷٫۸۸	۸۶٫۱۷	۸۸٫۴۶
Si	۶٫۰۰۲	۵٫۸۹۵	۵٫۹۳۸	۵٫۸۵۵	۵٫۹۱۶	۵٫۶۹۳	۵٫۹۱۰	۵٫۹۰۷	۵٫۸۱۰	۵٫۸۶۷
Ti	۰٫۱۲۹	۰٫۱۱۲	۰٫۰۸۳	۰٫۰۹۶	۰٫۰۹۰	۰٫۰۰۰	۰٫۰۹۰	۰٫۰۸۷	۰٫۰۵۰	۰٫۰۸۳
Al	۶٫۵۸۵	۶٫۷۴۰	۶٫۱۲۳	۶٫۸۴۹	۶٫۷۳۴	۶٫۷۳۱	۶٫۷۰۵	۶٫۷۲۳	۶٫۸۵۷	۶٫۷۶۲
Fe^{2+}	۱٫۶۴۰	۱٫۶۶۳	۱٫۶۶۱	۱٫۶۶۲	۱٫۶۸۳	۱٫۷۱۵	۱٫۷۰۵	۱٫۶۶۸	۱٫۶۹۹	۱٫۵۹۶
Mg	۰٫۴۰۸	۰٫۳۹۸	۰٫۳۹۸	۰٫۳۹۷	۰٫۳۹۱	۰٫۴۵۷	۰٫۴۳۱	۰٫۴۴۶	۰٫۴۴۸	۰٫۵۲۶
Mn	۰٫۰۲۲	۰٫۰۲۴	۰٫۰۲۲	۰٫۰۲۴	۰٫۰۲۴	۰٫۰۲۱	۰٫۰۲۸	۰٫۰۲۶	۰٫۰۲۷	۰٫۰۲۲
Ca	۰٫۰۳۰	۰٫۰۳۹	۰٫۰۳۹	۰٫۰۳۲	۰٫۰۳۲	۰٫۰۳۶	۰٫۰۳۲	۰٫۰۳۵	۰٫۰۳۸	۰٫۰۴۳
Na	۰٫۵۱۲	۰٫۴۹۸	۰٫۴۹۸	۰٫۴۸۸	۰٫۵۱۱	۰٫۴۹۲	۰٫۴۸۷	۰٫۴۹۴	۰٫۵۵۰	۰٫۵۲۱
K	۰٫۰۰۸	۰٫۰۰۶	۰٫۰۱۱	۰٫۰۱۰	۰٫۰۰۶	۰٫۰۰۸	۰٫۰۰۶	۰٫۰۱۰	۰٫۰۰۶	۰٫۰۰۶
FeO+MgO	۱۳٫۶۳	۱۳٫۶۰	۱۳٫۶۰	۱۳٫۴۹	۱۳٫۷۱	۱۴٫۲۲	۱۴٫۱۷	۱۴٫۰۴	۱۳٫۹۷	۱۳٫۹۷
FeO/FeO+MgO	۰٫۸۷۷	۰٫۸۸۰	۰٫۸۸۱	۰٫۸۷۹	۰٫۸۸۴	۰٫۸۶۹	۰٫۸۷۵	۰٫۸۶۹	۰٫۸۷۱	۰٫۸۴۳
X_{site}	۰٫۵۵۰	۰٫۵۴۳	۰٫۵۴۸	۰٫۵۳۰	۰٫۵۴۹	۰٫۵۳۶	۰٫۵۲۵	۰٫۵۳۹	۰٫۵۹۴	۰٫۵۷۰
X_{vac}	۰٫۴۵۰	۰٫۴۵۷	۰٫۴۵۲	۰٫۴۷۰	۰٫۴۵۱	۰٫۴۶۴	۰٫۴۷۵	۰٫۴۶۱	۰٫۴۰۶	۰٫۴۳۰
Na+K	۰٫۵۲۰	۰٫۵۰۴	۰٫۵۰۹	۰٫۴۹۸	۰٫۵۱۷	۰٫۵۰۰	۰٫۴۹۳	۰٫۵۰۴	۰٫۵۵۶	۰٫۵۲۷
X_{vac}+Na	۰٫۹۶۲	۰٫۹۵۵	۰٫۹۵۰	۰٫۹۵۸	۰٫۹۶۲	۰٫۹۵۶	۰٫۹۶۲	۰٫۹۵۵	۰٫۹۵۶	۰٫۹۵۱
X_{vac}/X_{vac}+Na	۰٫۴۶۷	۰٫۴۷۸	۰٫۴۷۵	۰٫۴۹۰	۰٫۴۶۸	۰٫۴۸۵	۰٫۴۹۳	۰٫۴۸۲	۰٫۴۲۴	۰٫۴۵۲
Mg/Mg+Fe	۰٫۱۹۹	۰٫۱۹۳	۰٫۱۹۳	۰٫۱۹۲	۰٫۱۸۸	۰٫۲۱۰	۰٫۲۰۱	۰٫۲۱۰	۰٫۲۱۱	۰٫۲۴۷
Al در R2	۰٫۵۸۵	۰٫۶۳۵	۰٫۶۶۰	۰٫۷۰۵	۰٫۶۴۹	۰٫۶۹۳	۰٫۶۱۵	۰٫۶۳۰	۰٫۶۶۷	۰٫۶۲۹
R2*	۲٫۶۵۵	۲٫۷۲۰	۲٫۷۴۱	۲٫۷۱۸	۲٫۷۳۳	۲٫۸۸۰	۲٫۷۷۹	۲٫۷۷۰	۲٫۸۱۱	۲٫۷۷۳
Fe/Fe+Mg	۰٫۸۰۰	۰٫۸۰۶	۰٫۸۰۶	۰٫۸۰۷	۰٫۸۱۱	۰٫۷۸۹	۰٫۷۹۸	۰٫۷۸۹	۰٫۷۸۸	۰٫۷۵۲
R1=Na+Ca	۰٫۵۴۲	۰٫۵۳۷	۰٫۵۳۷	۰٫۵۲۰	۰٫۵۳۴	۰٫۵۲۸	۰٫۵۱۹	۰٫۵۲۹	۰٫۵۸۸	۰٫۵۶۴
$R2=Fe^{tot}+Mg+Mn$	۲٫۰۷۰	۲٫۰۸۵	۲٫۶۱۹	۲٫۰۸۳	۲٫۰۹۳	۲٫۱۹۳	۲٫۱۶۴	۲٫۱۴۰	۲٫۱۴۴	۲٫۱۴۴
R3=Al+1.33Ti	۶٫۷۵۶	۶٫۸۸۰	۶٫۸۳۳	۶٫۹۷۰	۶٫۸۵۳	۶٫۷۳۱	۶٫۸۲۴	۶٫۸۳۸	۶٫۹۲۳	۶٫۸۷۲
R1+R2	۲٫۶۱۲	۲٫۶۲۲	۲٫۶۱۹	۲٫۶۰۳	۲٫۶۴۱	۲٫۷۲۰	۲٫۶۸۳	۲٫۶۶۹	۲٫۷۳۲	۲٫۷۰۸
R2*+Al در R2	۳٫۲۴۰	۳٫۳۵۵	۳٫۴۰۲	۳٫۳۵۳	۳٫۳۶۸	۳٫۵۷۹	۳٫۳۹۴	۳٫۴۰۰	۳٫۴۷۸	۳٫۴۰۲

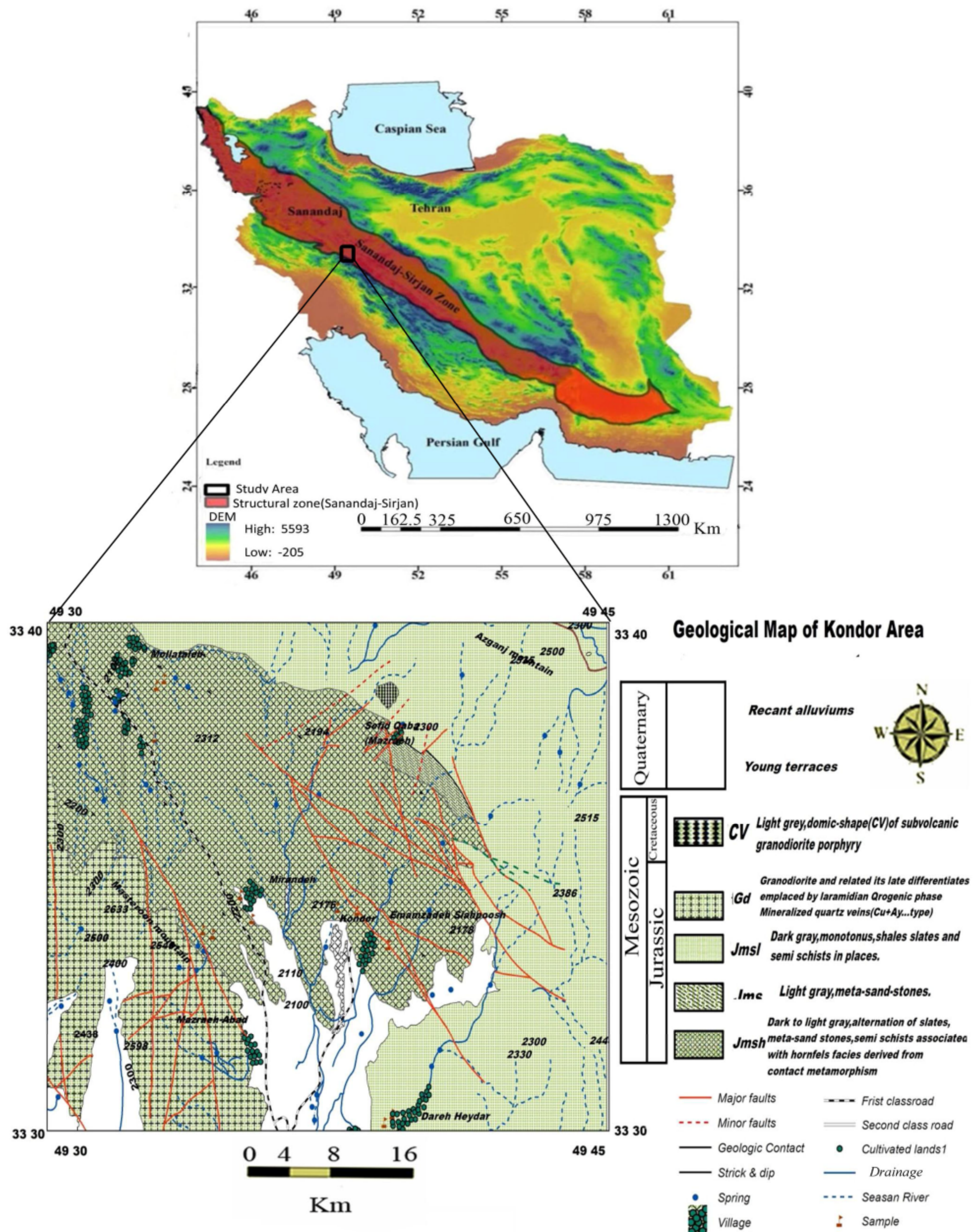
[Downloaded from ijcm.ir on 2025-03-18]
[DOI: 10.29252/ijcm.27.2.385]

ادامه جدول ۱:

شماره نمونه	۳۱ ●	۳۲ ●	۳۳ ●	۳۴ ●	۳۵ ●	۳۶ ◆	۳۷ ◆	۳۸ ◆	۳۹ ◆	۴۰ ◆
SiO_2	۳۵٫۵۴	۳۴٫۹۶	۳۵٫۱۵	۳۴٫۹۸	۳۴٫۹۸	۳۶٫۲۳	۳۶٫۱۵	۳۶٫۳۸	۳۶٫۵۹	۳۶٫۳۲
TiO_2	۰٫۸۳	۰٫۸۴	۱٫۰۲	۰٫۶۵	۰٫۶۵	۰٫۳۳	۰٫۲۹	۰٫۳۷	۰٫۸۷	۰٫۸۲
$Al2O_3$	۳۳٫۸۵	۳۴٫۵۵	۳۳٫۷۹	۳۴٫۶۸	۳۴٫۶۸	۳۵٫۵۴	۳۵٫۵۴	۳۶٫۶۳	۳۴٫۸۵	۳۵٫۱۶
FeO	۱۲٫۴۱	۱۲٫۳۷	۱۲٫۰۰	۱۲٫۲۵	۱۲٫۲۵	۱۲٫۰۸	۱۲٫۲۰	۱۲٫۰۶	۱۱٫۹۷	۱۲٫۱۱
MgO	۱٫۴۹	۱٫۵۷	۱٫۷۷	۱٫۸۵	۱٫۸۵	۱٫۴۰	۱٫۳۸	۱٫۶۳	۱٫۸۵	۱٫۶۸
CaO	۰٫۲۲	۰٫۲۷	۰٫۲۷	۰٫۲۵	۱٫۲۵	۰٫۱۲	۰٫۱۱	۰٫۱۳	۱٫۲۴	۱٫۱۸
MnO	۰٫۱۷	۰٫۱۸	۱٫۱۷	۰٫۱۶	۰٫۱۶	۰٫۱۵	۰٫۱۶	۰٫۱۶	۰٫۱۶	۱٫۱۸
Na_2O	۱٫۶۵	۱٫۸۹	۱٫۸۶	۱٫۹۷	۱٫۹۷	۱٫۲۱	۱٫۴۰	۱٫۳۸	۱٫۳۰	۱٫۵۰
K_2O	۰٫۰۵	۰٫۰۶	۰٫۰۵	۰٫۰۵	۰٫۰۵	۰٫۰۴	۰٫۰۳	۰٫۰۳	۰٫۰۴	۰٫۰۴
مجموع	۸۷٫۲۵	۷۲۸۶	۸۵٫۷۶	۸۶٫۸۵	۸۶٫۸۵	۸۷٫۱۴	۸۷٫۳۰	۸۸٫۸۰	۸۷٫۹۰	۸۷٫۹۹
Si	۵٫۹۳۲	۵٫۸۱۶	۵٫۸۴۴	۵٫۸۵۹	۵٫۸۰۷	۶٫۰۱۱	۵٫۹۹۵	۵٫۸۵۵	۵٫۹۵۱	۵٫۹۱۳
Ti	۰٫۱۰۴	۰٫۱۰۵	۰٫۱۲۸	۰٫۱۱۹	۰٫۰۸۱	۰٫۰۴۱	۰٫۰۳۶	۰٫۰۴۵	۰٫۱۰۶	۰٫۱۰۰
Al	۶٫۶۵۹	۶٫۷۷۵	۶٫۶۹۳	۶٫۶۹۰	۶٫۷۸۵	۶٫۷۵۴	۶٫۷۵۱	۶٫۹۴۸	۶٫۶۸۳	۶٫۷۴۶
Fe^{2+}	۱٫۷۳۲	۱٫۷۲۱	۱٫۷۴۱	۱٫۶۸۶	۱٫۷۰۱	۱٫۶۷۶	۱٫۶۹۲	۱٫۶۲۳	۱٫۶۲۹	۱٫۶۴۹
Mg	۰٫۳۷۱	۰٫۳۸۹	۰٫۴۱۴	۰٫۴۴۳	۰٫۴۵۸	۰٫۳۴۶	۰٫۳۴۱	۰٫۳۹۱	۰٫۴۴۹	۰٫۴۰۸
Mn	۰٫۰۲۴	۰٫۰۲۵	۰٫۰۲۴	۰٫۰۲۴	۰٫۰۲۲	۰٫۰۲۱	۰٫۰۲۲	۰٫۰۲۲	۰٫۰۲۲	۰٫۰۲۵
Ca	۰٫۰۳۹	۰٫۰۴۸	۰٫۰۵۰	۰٫۰۴۹	۰٫۰۴۴	۰٫۰۲۱	۰٫۰۲۰	۰٫۰۲۲	۰٫۰۴۲	۰٫۰۳۱
Na	۰٫۵۳۴	۰٫۶۱۰	۰٫۵۵۴	۰٫۶۰۶	۰٫۶۳۴	۰٫۳۸۹	۰٫۴۵۰	۰٫۴۳۱	۰٫۴۱۰	۰٫۴۷۳
K	۰٫۰۱۱	۰٫۰۱۳	۰٫۰۱۹	۰٫۰۱۱	۰٫۰۱۱	۰٫۰۰۸	۰٫۰۰۶	۰٫۰۰۶	۰٫۰۰۸	۰٫۰۰۸
FeO+MgO	۱۳٫۹۰	۱۳٫۹۴	۱۴٫۱۹	۱۳٫۷۷	۱۴٫۱۰	۱۳٫۴۸	۱۳٫۵۸	۱۳٫۶۹	۱۳٫۸۲	۱۳٫۷۹
FeO/FeO+MgO	۰٫۸۹۲	۰٫۸۸۷	۰٫۸۸۲	۰٫۸۷۱	۰٫۸۵۸	۰٫۸۹۶	۰٫۸۹۸	۰٫۸۸۰	۰٫۸۶۶	۰٫۸۷۸
X_{site}	۰٫۵۸۴	۰٫۶۷۱	۰٫۶۲۳	۰٫۶۶۶	۰٫۶۸۹	۰٫۴۱۸	۰٫۴۷۶	۰٫۴۵۹	۰٫۴۶۰	۰٫۵۱۲
X_{vac}	۰٫۴۱۶	۰٫۶۲۹	۰٫۳۷۷	۰٫۳۳۴	۰٫۳۱۱	۰٫۵۸۲	۰٫۴۲۴	۰٫۵۴۱	۰٫۵۴۰	۰٫۴۸۸
Na+K	۰٫۵۴۵	۰٫۶۲۳	۰٫۵۷۳	۰٫۶۱۷	۰٫۶۴۵	۰٫۳۹۷	۰٫۴۵۶	۰٫۴۳۷	۰٫۴۱۸	۰٫۴۸۱
X_{vac}+Na	۰٫۹۵۰	۰٫۹۳۹	۰٫۹۳۱	۰٫۹۴۰	۰٫۹۴۵	۰٫۹۷۱	۰٫۵۷۴	۰٫۹۷۲	۰٫۹۵۰	۰٫۹۶۱
X_{vac}/X_{vac}+Na	۰٫۴۳۷	۰٫۱۵۰	۰٫۴۰۰	۰٫۳۵۵	۰٫۳۲۹	۰٫۵۹۹	۰٫۵۳۷	۰٫۵۵۶	۰٫۵۶۸	۰٫۵۰۷
Mg/Mg+Fe	۰٫۱۷۶	۰٫۱۸۴	۰٫۱۹۲	۰٫۲۰۸	۰٫۲۱۲	۰٫۱۷۱	۰٫۱۶۷	۰٫۱۹۴	۰٫۲۱۶	۰٫۱۹۸
Al in R2	۰٫۵۹۱	۰٫۵۹۱	۰٫۵۳۷	۰٫۵۴۹	۰٫۵۹۱	۰٫۷۵۴	۰٫۷۴۷	۰٫۸۰۳	۰٫۶۳۶	۰٫۶۵۹
R2*	۲٫۷۱۸	۲٫۷۲۶	۲٫۷۲۸	۲٫۷۰۲	۲٫۷۷۲	۲٫۷۹۰	۲٫۸۰۲	۲٫۸۳۹	۲٫۷۳۶	۲٫۷۴۱
Fe/Fe+Mg	۰٫۸۲۳	۰٫۸۱۵	۰٫۸۰۵	۰٫۷۹۱	۰٫۷۸۸	۰٫۸۲۸	۰٫۸۳۲	۰٫۸۰۵	۰٫۷۸۳	۰٫۸۰۰
R1=Na+Ca	۰٫۵۷۳	۰٫۶۵۸	۰٫۶۰۴	۰٫۶۵۵	۰٫۶۷۸	۰٫۴۱۰	۰٫۴۷۰	۰٫۴۵۳	۰٫۴۵۲	۰٫۵۰۴
R2=Fe^{tot}+Mg+Mn	۲٫۱۲۷	۲٫۱۳۵	۲٫۱۷۹	۲٫۱۵۳	۲٫۱۸۱	۲٫۰۴۳	۲٫۰۵۵	۲٫۰۳۶	۲٫۱۰۰	۲٫۰۸۲
R3=Al+1.33Ti	۶٫۷۹۸	۶٫۹۱۴	۶٫۸۶۳	۶٫۸۴۸	۶٫۸۹۲	۶٫۸۰۸	۶٫۷۹۸	۷٫۰۰۷	۶٫۸۲۶	۶٫۸۷۹
R1+R2	۲٫۶۶۴	۲٫۷۹۳	۲٫۷۸۳	۲٫۸۰۰	۲٫۸۵۹	۲٫۴۵۳	۲٫۵۲۵	۲٫۴۸۹	۲٫۵۵۲	۲٫۵۸۶
R2 در R2*+Al	۳٫۳۰۹	۳٫۳۱۷	۳٫۲۶۵	۳٫۲۵۰	۳٫۳۶۳	۳٫۵۵۱	۳٫۵۴۹	۳٫۶۴۲	۳٫۳۷۲	۳٫۴۰۰

[Downloaded from ijcm.ir on 2025-03-18]

[DOI: 10.29252/ijcm.27.2.385]



شکل ۱ نقشه زمین‌شناسی ناحیه کندر برگرفته از مرجع [۲۵] با تغییر و جایگاه ناحیه مورد بررسی بر آن

[Downloaded from ijcm.ir on 2025-03-18]
[DOI: 10.29252/ijcm.27.2.385]

ویژگی‌های صحرایی و سنگ نگاری واحدهای تورمالین‌دار

روابط صحرایی بین مجموعه‌های سنگ‌شناسی موجود در منطقه (مجموعه‌های گرانیتی و دگرگونه‌ها)، ارتباط رگه‌های آپلیتی و پگماتیتی با این مجموعه‌ها و ارتباط رگه‌های کوارتز-تورمالینی با سنگ میزبان گرانیت، گرانودیوریت و کوارتزدیوریتی بررسی شدند. بررسی‌های صحرایی انجام شده نشان می‌دهد که در بخش‌های مختلف منطقه، گرانیت‌ها، کوارتزدیوریت‌ها و گرانودیوریت‌ها میزبان واحدهای تورمالین‌دار هستند. توده گرانیتوئیدی ملاطالب با بافت پگماتیتی، دربردارنده کانی‌های تورمالین (با چند رنگی آبی کمرنگ و ساخت منطقه‌ای)، کوارتز، مسکوویت، پلاژیوکلاز با ماکل چندریخت، پرتیت و اپیدوت است [۳۷]. تورمالین‌های ملاطالب به صورت دانه ریز و به وفور در رگه‌های آپلیتی و به صورت دانه درشت در رگه‌های پگماتیتی متعدد موجود در توده‌های گرانیتوییدی برونزد دارند. این تورمالین‌ها به شکل عدسی کشیده و به طول ۱۸ متر و ضخامت متوسط ۲ متر در میان توده پگماتیتی ملاطالب قرار دارند که گاه از نوع تورمالینیت و شامل ۱۰۰ درصد تورمالین هستند (شکل ۲ الف). در ناحیه ملاطالب رگه‌های پگماتیتی و آپلیتی-پگماتیتی تورمالین‌دار در سنگ‌های گرانودیوریتی نیز برونزد دارند که به‌صورت دانه ریز و در میان یک شکاف بوجود آمده و توسط سیلیس و فلدسپات احاطه شده‌اند (شکل ۲ ب). این تورمالین‌ها اغلب توسط رگچه‌های نازک تغذیه می‌شوند و می‌توانند برآمده از یک فاز غنی از بور (B) در فازهای پایانی باشند [۳۸]. این گرانودیوریت‌ها، شامل تورمالین با چندرنگی معکوس سبز-آبی همراه کوارتز، پلاژیوکلاز و مسکوویت و همچنین به صورت لکه‌های قهوه‌ای در لبه و آبی در وسط با چندرنگی معکوس که بخش عمده آن همراه با کوارتز است و پلاژیوکلاز با ماکل چندریخت، میکروکلین و پرتیت‌های بسیار درشت نیز دیده می‌شود. از طرف دیگر، رگه‌های دربردارنده تورمالین ریز در زیر میکروسکوپ، شامل تورمالین با چندرنگی معکوس آبی (در وسط) و قهوه‌ای (در لبه)، اسفن، کلریت و پلاژیوکلاز با بافت آپلیتی هستند. همچنین، پگماتیت‌های شامل تورمالین و مسکوویت‌های بسیار دانه‌درشت با روند شمال‌غربی-جنوب‌شرقی پیرامون توده گرانیتوئیدی ملاطالب به خوبی دیده می‌شوند. این تورمالین‌ها خودشکل و به صورت تیغه‌های منفرد هستند و رشد افشانه‌ای دارند که اندازه آنها به ۱۲ تا ۲۰ سانتی‌متر می‌رسد. در نمونه دستی این سنگ‌ها، مسکوویت‌های درشت، تورمالین و کوارتز قابل تشخیص هستند (شکل ۲ پ). گاهی تورمالین گرهکی همراه با کوارتز در این گرانیت‌ها دیده می‌شود که در نمونه دستی دارای مرکز تیره و لبه روشن هستند. قطر گرهک‌ها از ۱۵ میلیمتر در هسته تیره تا حدود ۳۰ میلیمتر در قسمت روشن متغیر است (شکل ۲ ت). این تغییر رنگ در نتیجه تبادل‌های یونی بین مرکز و لبه گرهک‌های تورمالین بوجود آمده است که منجر به پایداری بیشتر مرکز گرهک نسبت به لبه آن می‌شود [۱۵]. میانبارهای موسکویت و گاهی فلدسپار درون درشت بلورهای تورمالین دیده می‌شود. شکل گرهک‌ها متفاوت است، اما بیشتر آنها کروی یا شبه کروی هستند (شکل ۲ ت). در مقاطع نازک، برش طولی این تورمالین‌ها دارای چندرنگی بسیار شدید قهوه‌ای تا سبز است. فلدسپارها حدود ۵ درصد حجم نمونه را تشکیل داده‌اند، دارای ترکیب قلیایی از نوع ارتوز و آلبیت هستند و بیشتر کمی رسی و گاهی نیز سریسیتی شده‌اند. گاهی روی این فلدسپارها، تورمالین‌های ریزبلور قرار دارند. اندازه مسکوویت گاهی تا یک میلیمتر می‌رسد و اغلب در فضاهای بین تورمالین‌ها و همراه با کوارتز مشاهده می‌شود. گاهی خمش و چین خوردگی کوچک در مسکوویت‌ها دیده می‌شود که بیانگر ایجاد تنش و دگرشکلی در این نمونه است. مسکوویت‌ها اغلب به شکل تخته‌ای و ریز تا متوسط بلور هستند (شکل ۲ ث). گاهی فلدسپات و تورمالین در دو مجموعه کاملاً مجزا کنار یکدیگر قابل مشاهده‌اند (شکل ۲ ج).

شیمی کانی تورمالین در منطقه مورد بررسی

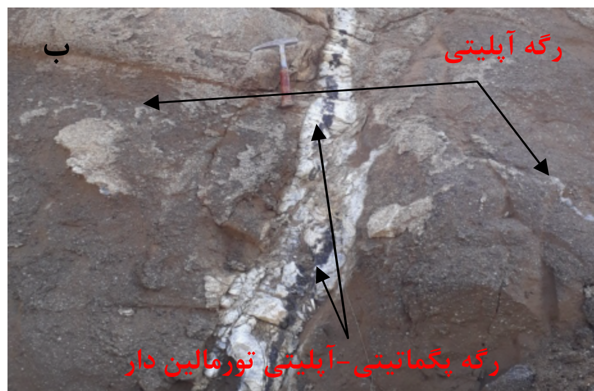
با استفاده از داده‌های تجزیه ریزپردازشی انجام شده از تورمالین‌های موجود در ناحیه مورد بررسی و فرمول ساختاری بر اساس ۳۱ آنیون ، تغییرات ترکیبی در نسبت‌های Ca, Na, Mg, Fe و نوع تورمالین‌ها به کمک نمودار دوتایی $X_{vac}/X_{vac}+Na$ نسبت به Mg/Mg+Fe [۳۹] بررسی شد (شکل ۳ الف). بر اساس این نمودار، همه تورمالین‌ها در گستره بین شورل-فوئیتیت با تمرکز بیشتر در منطقه شورلیت قرار گرفته‌اند. همچنین با توجه به این نمودار، رگه‌های آپلیتی-پگماتیتی تورمالین‌دار، تورمالین‌های گرهکی و بیشتر تورمالین‌های موجود در پگماتیت‌ها دارای مقدار کمتری از Mg/Mg+Fe هستند و در قسمت شورلیت قرار دارند و رگه‌های کوارتز-تورمالین و بخشی از تورمالین‌های موجود در

[Downloaded from ijcm.ir on 2025-03-18]

[DOI: 10.29252/ijcm.27.2.385]

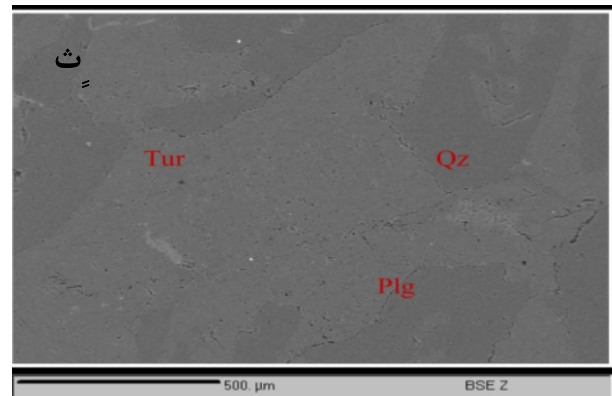
پگماتیت‌ها نیز دارای مقدار بیشتری از نسبت Mg/Mg+Fe بوده و وابسته به قطب فوئیتیت هستند. با توجه به تمایل نمونه‌ها به سمت قطب شورلیت در مقایسه با دراویت، در مجموع می‌توان گرفت که مقدار Fe نمونه‌ها از مقدار Mg بیشتر است. از طرف دیگر، با استفاده از نمودار Na/Na+Ca نسبت به Fe/Fe+Mg [۴۰] همه تورمالین‌ها در ناحیه شورلیت قرار می‌گیرند. بر اساس این نمودار، تورمالین‌های موجود در پگماتیت‌ها دارای نسبت بالاتری از Fe/Fe+Mg هستند (شکل ۳ ب).







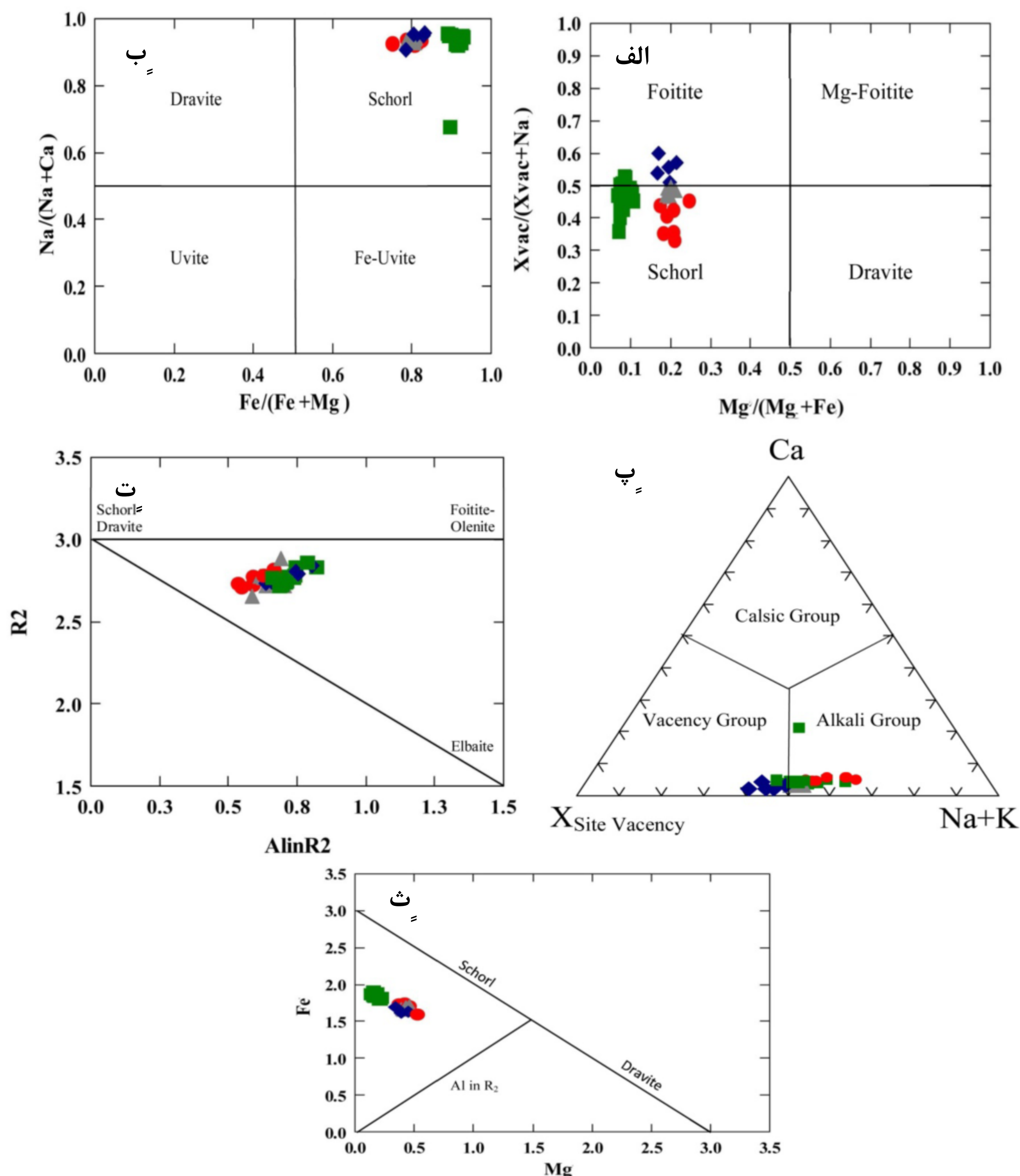






شکل ۲ الف) تصویر صحرایی پگماتیت‌های دربردارنده تورمالین و مسکوویت‌های بسیار دانه درشت (دید به سمت شرق)، ب) تصویر صحرایی رگه‌های آپلیتی و آپلیتی-پگماتیتی تورمالین‌دار که در سنگ‌های گرانودیوریتی برونزد دارند(دید به سمت غرب)، پ) تصویر صحرایی پگماتیت‌های دربردارنده تورمالین و مسکوویت‌های بسیار دانه درشت با روند شمال‌غربی- جنوب‌شرقی که پیرامون توده ملاطالب به خوبی دیده می‌شوند. این تورمالین‌ها خودشکل و به صورت تیغه‌های منفرد هستند(دید به سمت جنوب)، ت) تصویر صحرایی تورمالین‌های گرهکی همراه با کوارتز و فلدسپات در گرانیت‌ها(دید به سمت جنوب غرب)، ث) تصویر ریزپردازش الکترونی از تورمالین به همراه کوارتز و پلاژیوکلاز ج) تصویر صحرایی فلدسپات و تورمالین در دو فاز کاملا مجزا در کنار یکدیگر (دید به سمت جنوب).

[Downloaded from ijcm.ir on 2025-03-18]
[DOI: 10.29252/ijcm.27.2.385]



شکل ۳ جایگاه ترکیبی تورمالین‌های ملاطالب (استان لرستان) در الف)نمودار دوتایی X-vac/X-vac+Na نسبت به Mg/Mg+Fe [۳۹] که همه تورمالین‌ها در گستره بین شورل-فوئیتیت با تمرکز بیشتر در منطقه شورلیت قرار گرفته‌اند، ب) نمودار Na/Na+Ca نسبت به Fe/Fe+Mg [۴۰]، که همه نمونه‌ها در گستره شورلیت قرار گرفته‌اند، پ)نمودار مثلثی (Na+K)، Ca، تهیجای X، [۳۹] که بیشتر تورمالین‌های موجود به انواع قلیائی تعلق دارند، ت) نمودار *R2 نسبت به Al در R2 ($R2^* = Fe+Mg+Mn + Al$, $R2 = Al + 1.33Ti + Si-12$)[۴۱]، که با توجه به آن نشان می‌دهند که جایگاه Y همه نمونه‌های مورد بررسی به طور کامل پر نشده است. و ث) نمودار تغییرات Fe نسبت به Mg [۴۱] که نمونه‌ها در زیر خط $\sum(Fe+Mg)=3$ و در گستره با مقدار Mg کمتر از Fe، یعنی شورلیت قرار می‌گیرند. علائم به کار رفته مانند جدول ۱ هستند.

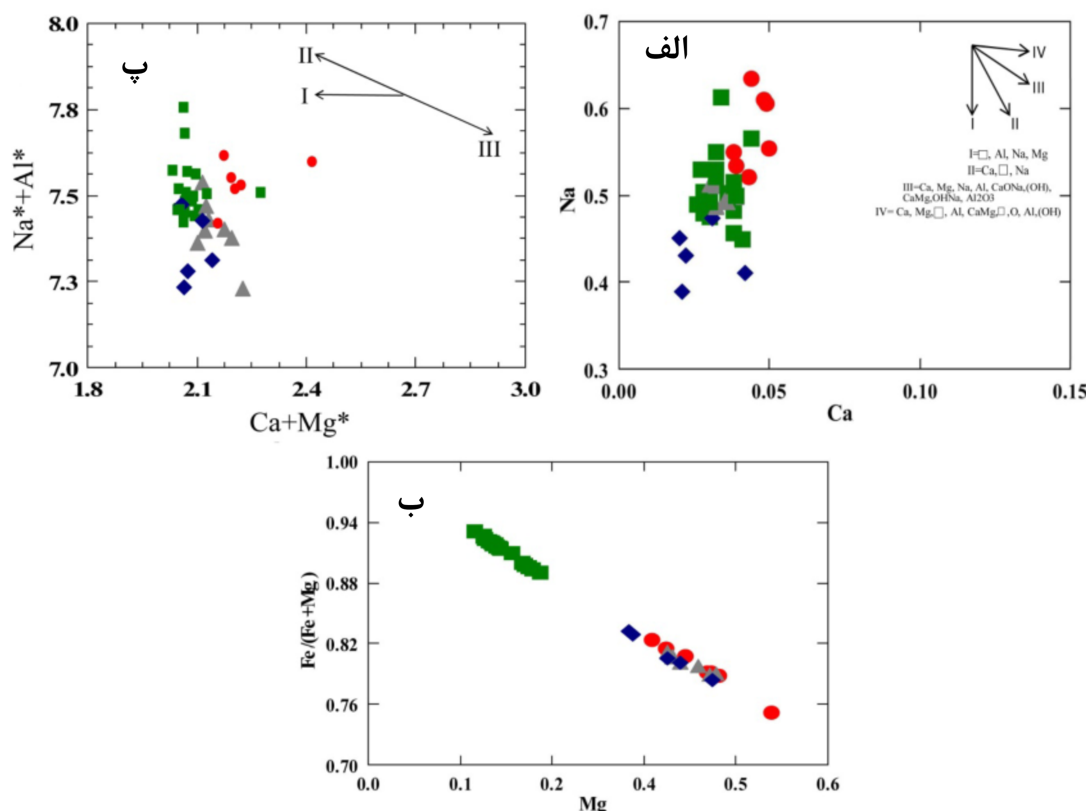
[Downloaded from ijcm.ir on 2025-03-18]
[DOI: 10.29252/ijcm.27.2.385]

تورمالین‌ها را براساس وجود یا عدم وجود فضالی خالی در جایگاه X و مقادیر Ca, Na, K، به سه دسته تورمالین‌های کلسیمی، قلیایی و انواعی که تهیجای X دارند تقسیم می‌کنند [۳۹]. بر اساس این رده‌بندی، نمونه های برداشت شده از رگه‌های آپلیتی-پگماتیتی تورمالین‌دار، تورمالین‌های گرهکی و بیشتر تورمالین‌های موجود در پگماتیت‌ها از انواع قلیایی هستند و رگه‌های کوارتز-تورمالین و یک نمونه نیز از تورمالین‌های موجود در پگماتیت‌ها در منطقه تهیجای X دارند که این امر دلیل پایین بودن مقادیر K, Na موجود در جایگاه X در مقایسه با مقدار Ca است (شکل ۳ پ).

قرارگیری همه نمونه‌های مورد بررسی در نمودار R_2^* نسبت به Al در R_2 [۴۱]، نشان می‌دهد که جایگاه Y نمونه‌ها به طور کامل پر نشده است. کمبود در این جایگاه با جایگزینی مقداری از Mg, Fe موجود توسط Al, Li در جایگاه Y توجیه می‌شود که تا حدودی می‌تواند به جانشینی آلبائیت (جانشینی لیتیم) مربوط باشد (شکل ۳ ت).

در نمودار تغییرات Fe نسبت به Mg [۴۱]، ترکیب شورلیت- دراویت روی خط $\sum(Fe+Mg)=3$ قرار می‌گیرد. همه نمونه‌هایی که زیر این خط قرار دارند دارای $\sum(Fe+Mg)<3$ هستند و به صورت جانشینی Al در جایگاه Y در می‌آیند. چنان که از این نمودار پیداست هرچه $\sum(Fe+Mg)$ کمتر باشد، میزان جانشینی Al در جایگاه Y بیشتر می‌شود. بر اساس این نمودار، همه نمونه‌های برداشت شده از تورمالین‌های موجود در ناحیه مورد بررسی دارای $\sum(Fe+Mg)<3$ هستند و با دارا بودن مقدار Mg کمتر از Fe، درناحیه شورلیت قرار می‌گیرند (شکل ۳ ث).

بر اساس نمودار Ca نسبت به Na (شکل ۴ الف)، وجود مقدار Ca<۰/۲ در همه نمونه‌های مورد بررسی، نشانگر مقدار ناچیز اویت در ساختار تورمالین است. بر این اساس، وجود مقدار زیاد Al در جایگاه Y به علت جانشینی‌های $AlOMg_{-1}$ و $(OH)_{-1}$ $AlNa_{-1}Mg_{-1}$ است [۴۲]. همچنین پراکندگی داده‌های تورمالین در این نمودار نشان دهنده اهمیت سایر جانشینی‌ها مانند $AlNa_{-1}Mg_{-1}$ و تشکیل تهیجای X است [۴۳]. جایگاه نمونه‌ها در نمودار Ca + Mg* نسبت به Na* + Al* (شکل ۴ ب) نشان دهنده تطابق خطی معکوس و درجه کم جانشینی اویت است.



شکل ۴ الف) جایگاه نمونه‌ها در نمودار Ca نسبت به Na. ب) همبستگی معکوس Ca+Mg* نسبت به Na* + Al*. Mg*= Mg+ Fe + Mn + 2Li –Ti, Na*= Na + K, Al*= Al + Fe3+ + 2Ti-Li پ) نمودار Mg نسبت به Fe/Fe+Mg که نشان دهنده بالاتر بودن مقدار نسبی منیزیم در رگه‌های کوارتز-تورمالین و بالاتر بودن مقدار Fe/Fe+Mg در تورمالین‌های موجود در پگماتیت‌هاست. علائم به کار رفته مانند جدول ۱ است.

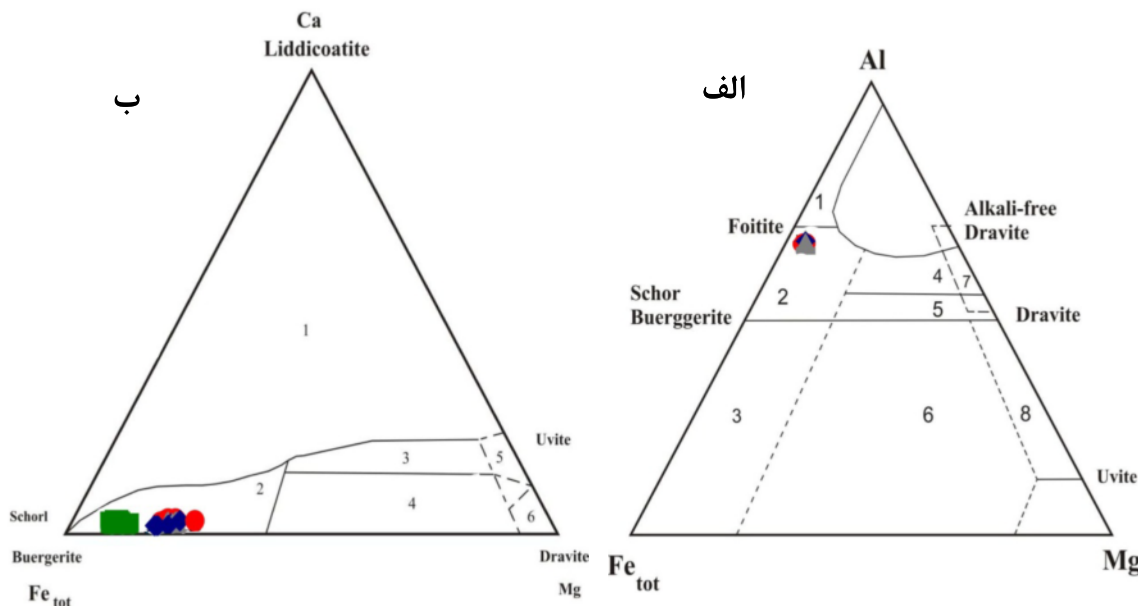
[DOI: 10.29252/ijcm.27.2.385] [Downloaded from ijcm.ir on 2025-03-18]

به کمک نمودار شکل ۴ پ می‌توان میزان غنی‌شدگی تورمالین‌ها از Mg و Fe/Fe+Mg را بدست آورد. نمونه‌های تورمالین‌دار مورد بررسی دارای طیف گسترده غنی‌شدگی از Mg (۰٫۱ تا ۰٫۵۳) و مقدار Fe/Fe+Mg (۰٫۷ تا ۰٫۹) هستند. بر این اساس، تورمالین‌های موجود در پگماتیت‌ها بیشترین غنی‌شدگی را در نسبت Fe/Fe+Mg و تهی‌شدگی را در نسبت Mg، و رگه‌های آپلیتی-پگماتیتی تورمالین‌دار، تورمالین‌های گرهکی و رگه‌های کوارتز-تورمالین بیشترین تهی‌شدگی را در نسبت Fe/Fe+Mg و غنی‌شدگی را در نسبت Mg را نشان می‌دهند (شکل ۴ پ).

نتایج

تورمالین‌های موجود در گرانیت‌ها، خودشکل و بدون منطقه‌بندی بوده و در شرایطی مانند پرآلومین بودن (A/CNK>1)، شرایط اسیدی PH<6.5 و B2O3=2wt % متبلور می‌شوند [۴۳]. همچنین تورمالین‌های ماگمایی در مقایسه با تورمالین‌های گرمابی دارای مقدار Al و تهیجای X بیشتر هستند [۴۰]. با توجه به شکل‌های ۳ ت و ۴ ب همه تورمالین‌ها به سمت Al بالا و کاهش تهیجای X گرایش داشته و خاستگاه ماگمایی دارند. همچنین تورمالین‌های ماگمایی در مقایسه با تورمالین‌های گرمابی عدد آهن Fe/Fe+Mg بالاتری دارند. بر این اساس، ماگمایی بودن تورمالین‌های ناحیه ملاطالب با استفاده از نمونه‌های برداشت شده قابل تأیید است. از طرف دیگر، بالا بودن نسبت Fe^{2+} به Mg در تورمالین از نشانه‌های تشکیل آن به وسیله مذاب‌های ماگمایی است [۴۴]. بنابراین، تورمالین‌های موجود در ناحیه ملاطالب ماگمایی هستند.

بر اساس نمودارهای سه تایی Ca-Fe(tot)-Mg و نیز Al-Fe-Mg، تورمالین‌های منطقه به ترکیب شورلیت نزدیک بوده و غنی از آهن هستند (شکل‌های ۵ الف و ب). همچنین ترکیب این تورمالین‌ها در هر دو نمودار در ناحیه گرانیتوئیدهای فقیر از Li و پگماتیت‌های وابسته به آن قرار می‌گیرند [۱].



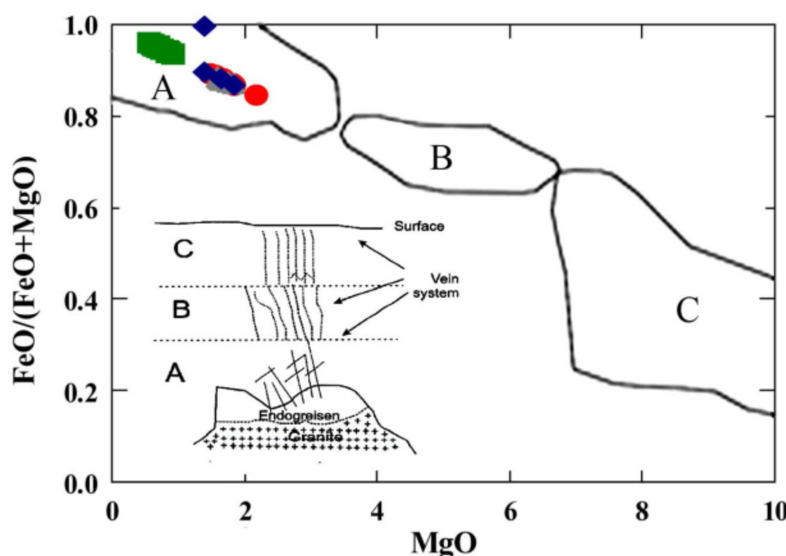
شکل ۵ جایگاه ترکیبی تورمالین‌های ملاطالب بر نمودارهای سه‌تایی. الف) Al-Fe-Mg. ۱:گرانیتوئیدهای غنی از لیتیم، پگماتیت‌ها و آپلیت‌های وابسته به آنها ۲: گرانیتوئیدهای فقیر از لیتیم، پگماتیت‌ها و آپلیت‌های وابسته به آنها ۳: سنگ‌های کوارتز-تورمالین سرشار از Fe^{3+} ۴: متاپلیت‌ها و متاپسامیت‌های همزیست با یک فاز اشباع از آلومینیم ۵: متاپلیت‌ها و متاپسامیت‌های غیرهمزیست با یک فاز اشباع از آلومینیم ۶: سنگ‌های سیلیکاته آهکی، متاپلیت‌ها و سنگ‌های کوارتز-تورمالین سرشار از Fe^{3+} ۷: فرامافیک‌های دگرگون شده با کلسیم پایین و متاسدیمنت‌های غنی از وانادیم و کروم ۸: متاکربنات‌ها و متاپیروکسنیت‌ها [۱] و ب) Ca-Fe-Mg. ۱: گرانیتوئیدهای غنی از لیتیم، پگماتیت‌ها و آپلیت‌های وابسته به آنها ۲: گرانیتوئیدهای فقیر از لیتیم، پگماتیت‌ها و آپلیت‌های وابسته به آنها ۳: سنگ‌های سیلیکاته آهکی، متاپسامیت‌ها و متاپلیت‌های غنی از Ca ۴: سنگ‌های کوارتز- تورمالین، متاپسامیت‌ها و متاپلیت‌های فقیر از Ca ۵: متاکربنات‌ها ۶: فرامافیک‌های دگرگون شده [۱]. با توجه به این نمودارها، همه نمونه‌ها در گستره گرانیتوئیدهای فقیر از لیتیم، پگماتیت‌ها و آپلیت‌های وابسته به آنها قرار گرفته‌اند. (علائم مانند جدول ۱ است).

[Downloaded from ijcm.ir on 2025-03-18]
[DOI: 10.29252/ijcm.27.2.385]

در شرایط گرمابی، تورمالین در مقدار B بسیار کم‌تر B و طیف گسترده‌تری از ترکیب‌ها نسبت به شرایط ماگمایی به وجود می‌آید [۴۵]. تورمالین‌های رگه‌های پگماتیتی به دلیل قرارگیری در ناحیه گرانیتوئیدها، احتمالاً به طور ماگمایی تشکیل شده‌اند. این رگه‌ها پس از نفوذ توده اصلی گرانیتی در اثر نفوذ دوباره ماگما و تزریق آن در توده اصلی به وجود آمده‌اند.

مجموعه گرانیتوئیدی ملاطالب از نظر شیمیایی پرآلومین است [۲۶]، از این رو می‌توانند مقدار Al لازم برای تشکیل تورمالین در خود توده و رگه‌های آپلیتی- پگماتیتی را فراهم سازد. همچنین وجود تورمالین‌های اولیه نشانگر این است که توده گرانیتوئیدی مقدار B لازم برای تشکیل تورمالین در توده و در رگه‌ها را نیز دارا بوده است. از طرف دیگر، با توجه به مقدار FeO+MgO بیش از ۱۰ در این توده، می‌توان گفت که مقدار کافی Mg, Fe برای تشکیل تورمالین نیز وجود دارد، در نتیجه باید خاستگاه Mg, Fe, Al, B مورد نیاز برای تشکیل تورمالین را درون توده گرانیتوئیدی در نظر گرفت.

بسته بودن سیستم ماگمایی، عدم دخالت سیال‌ها و آلایش آنها با رسوبات غنی از Al در تورمالین با نسبت $Fe^{\#}$=FeO*/FeO*+MgO بیش از ۰/۸ مشخص می‌شود. اما مقدار کمتر از ۰/۶ برای $Fe^{\#}$=FeO*/FeO*+MgO نشانگر فعالیت دگرنهادی بور با رسوبات غنی از Al و B از یک خاستگاه خارجی است [۴۶]. نسبت یاد شده در تورمالین‌های واحدهای مختلف بیش از ۰/۸ است، که نشان دهنده شکل گرفتن بور از سیال‌های ماگمایی در مراحل تأخیری است. از طرف دیگر مقدار $Fe^{\#}$=FeO*/(FeO*+MgO) تورمالین سیال گرمابی با فاصله گرفتن از توده گرانیتی کوچک‌تر می‌شود، به طوری‌که این نسبت برای ذخایر درون گرانیتی چسبیده به توده گرانیتی بین ۰/۸ تا ۱ و برای سیستم‌های رگه‌ای در فاصله ۱ کیلومتر یا بیشتر، کمتر از ۰/۶ است [۴۶]. با توجه به مقدار FeO*/(FeO*+MgO) برای نمونه‌های مختلف منطقه ملاطالب که از ۰/۸ بالاتر است و قرارگیری همه نمونه‌ها در گستره a (شکل ۶) می‌توان نتیجه گرفت که فاصله رگه‌های تورمالین‌دار در منطقه مورد بررسی از توده گرانیتی الیگودرز کمتراز ۱ کیلومتر بوده است. بنابراین واحدهای دگرگونی در تشکیل تورمالین‌های منطقه با توجه به مقدار $Fe^{\#}$ آنها و همچنین واقع شدن آنها در گستره ترکیبی گرانیتوئیدهای فقیر از لیتیم، پگماتیت‌ها و آپلیت‌های وابسته به آن (شکل ۶) بی‌تاثیر بوده‌اند. قرارگیری همه نمونه‌های مورد بررسی در منطقه a از شکل ۶ بیانگر بالا بودن نسبی مقدار $Fe^{\#}$ در این مناطق است که نشان‌دهنده نزدیک بودن ناحیه تشکیل تورمالین‌ها با منبع تغذیه کننده سیال و نشانگر فاصله کمتر از ۱ کیلومتر آنها با توده نفوذی است.



شکل ۶ نمودار ($FeO^{\#}$=FeO/FeO+MgO) نسبت به MgO که میدان تورمالین‌های اندوگرانیتی تا نزدیک به توده گرانیتی (A)، نزدیک به توده گرانیتی تا حدواسط (B) و تورمالین‌های دور از توده گرانیتی (C) در آن مشخص است[۴۶]. در این نمودار، همه نمونه‌های برداشت شده از پگماتیت‌های تورمالین‌دار در گستره A واقع شد. علائم مانند جدول ۱ است.

[Downloaded from ijcm.ir on 2025-03-18]
[DOI: 10.29252/ijcm.27.2.385]

برداشت

براساس نتایج بررسی‌های واحدهای مختلف تورمالین‌دار ناحیه ملاطالب و به کمک نمودارهای مختلف، می‌توان گفت که بیشتر تورمالین‌های موجود در این ناحیه از نوع شورلیت است که عدم وجود منطقه‌بندی در تورمالین‌های ملاطالب آنرا تایید می‌کند. رگه‌های کوارتز-تورمالین و بخشی از تورمالین‌های موجود در پگماتیت ها نیز به سمت قطب فوئیتیت تمایل دارند. همچنین بر اساس جانشینی های کاتیونی، رگه‌های آپلیتی-پگماتیتی تورمالین‌دار، تورمالین‌های گرهکی و بیشتر تورمالین‌های موجود در پگماتیت‌ها از نوع قلیایی بوده و رگه‌های کوارتز-تورمالین و یک نمونه نیز از تورمالین‌های موجود در پگماتیت‌ها نزدیک به قطب گروه تهیجاها قرار می‌گیرند. در نمودار Mg نسبت به Fe/Fe+Mg، رگه‌های آپلیتی-پگماتیتی تورمالین‌دار، تورمالین‌های گرهکی و رگه‌های کوارتز-تورمالین بالاترین مقدار منیزیم و تورمالین‌های موجود در پگماتیت‌ها بالاترین مقدار Fe/Fe+Mg و کمترین مقدار Mg را دارند. قرارگیری همه نمونه‌ها در زیر $\sum(Fe+Mg)=3$ نشان دهنده جانشینی Al در جایگاه Y است. حضور تورمالین‌های خودشکل در گرانیت‌های این ناحیه، عدم وجود پهنه‌بندی شیمیایی و مشاهده تورمالین‌ها به شکل‌های مختلف از جمله گرهکی، نشانه روشنی از غنی بودن ماگمای خاستگاه این گرانیت‌ها از B است. تورمالین‌هایی که درون پگماتیت‌ها قرار گرفته‌اند و یا به صورت رگه‌های آپلیتی و پگماتیتی هستند خاستگاه ماگمایی دارند، در حالی که تورمالین‌های گرمابی (ماگمایی تأخیری) در سنگ‌های میزبان گرانیتی متاآلومین (کوارتزدیوریت‌ها) وجود دارند. بدین ترتیب، به نظر می‌رسد که بور در واحدهای مختلف خاستگاه ماگمایی یا گرمابی دارد. نسبت FeO*=FeO/FeO+MgO در مناطق تورمالین‌دار بیش از ۰٫۸ است که بیانگر شکل‌گیری بور از سیال‌های ماگمایی مراحل تأخیری است.

قدردانی

این مقاله برآمده از پایان نامه کارشناسی ارشد رشته زمین‌شناسی اقتصادی دانشگاه آزاد اسلامی واحد خرم‌آباد است. نگارندگان بر خود لازم می‌دانند که از گروه زمین‌شناسی و معاونت پژوهشی این دانشگاه تشکر نمایند.

مراجع

[1] Henry D. J., Guidotti C. V., *"Tourmaline as a petrogenetic indicator mineral: an example from the staurolite grade metapelites of NW-Marine"*, American Mineralogist 70(1985) 1-15.

[2] Slack J. F., Herriman N., Barnes R. G., Plimer I. R., *"Stratiform tourmalinites in metamorphic terrenes and their geologic significance"*, Geology 12(1984) 713-716.

[3] Buriánek D., Novák M., *"Compositional evolution and substitutions in disseminated and nodular tourmaline from leucocratic granites: Examples from the Bohemian Massif, Czech Republic"*, Lithos 95(2007) 148-164.

[4] Maning D.A.C., *"Chemical and morphological variation in tourmalines from the Hub Kapong batholith of peninsular Tailand"*, Mineralogical Magazine 45(1982)139-147

[5] London D., Maning D.A.C., *"Chemical variation and significance of tourmaline from SW England",* Economic Geology 90(1995) 495-519. 1995

[6] Henry D.J., Dutrow B.L., *"Metamorphic tourmaline and its petrologic applications",* Reviews in Mineralogy and Geochemistry 33(1996) 503–557.

[7] Dutrow B.L., Henry D.J., 2011. *"Tourmaline: a geologic DVD"*, Elements 7-5(2011) 301–306.

[8] Van Hinsberg V.J., Henry D.J., Dutrow, B.L., "Tourmaline as a petrologic forensic mineral: a unique recorder of its geologic past", Elements 7-5(2011) 327–332.

[9]Van Hinsberg V.J., Henry D.J., Marschall H.R., *"Tourmaline: an ideal indicator of its host environment"*, The Canadian Mineralogist 49-1(2011) 1–16.

[10] Scaillet B., Pichavant M., Roux J., *"Experimental crystallization of leucogranite magmas"*, Journal of Petrology 36-3(1995) 663–705.

[11] Wolf M.B., London D., *"Boron in granitic magmas: Stability of tourmaline in equilibrium with biotite and cordierite"*, Contributions to Mineralogy and Petrology 130-1(1997) 12–30.

[12] Krynine P.D., *"The tourmaline group in sediments"*, Journal of Geology 54(1946) 65-87.

[13] Copjakova R., Skoda R., Galiova M.V., Novak M., *"Distributions of Y + REE and Sc in tourmaline and their implications for the melt*

[DOI: 10.29252/ijcm.27.2.385] [Downloaded from ijcm.ir on 2025-03-18]

[23] Stocklin j., *"Structual history and tectonic of Iran, a review"*, American association of Petrolium Geologist Bulletine, 52-7(1968) 1229-1258

[24] Mohajjel M., Sahandi M.R., *"Tectonic evolution of Sanandaj-Sirjan Zone",* Scientific Quarterly journal Geosience, 31-32(2001) 28-49

[25] Shahrokhi S.V., *"Ore-control Determinations of Cu-Mineralization and Its Related) Elements at Kondor Area on Part of Aligudarz (NE-Lorestan Province)",* M.Sc. Thesis, North Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran, (2002) 155pp.

[26] Lotfi M., Shahrokhi, S.V., *"Cu-Au ore mineralization in Kondor area(N-Aligoudarz) connecting with relavant geodynamic problems of Masterrungranitoids(NE-lorestan province in Iran)".* 7th conference of geological survey of Iran, Isfahan, Iran.–Maning, D.A.C., (2004).

[27] Esna-Ashari A., Hassanzadeh J., Valizadeh M.V., *"Geochemistry of microgranular enclaves in Aligoodarz Jurassic arc pluton, western Iran: implications for enclave generation by rapid crystallization of cogenetic granitoid magma"* Mineralogy and Petrology, 101(2011) 195–216.

[28] Esna-Ashari A., Tiepolo M., Valizadeh M.V.,Hassanzadeh J., Sepahi A.S., *"Geochemistry and zircon U-Pb geochronology of Aligoodarzgranitoid complex, Sanandaj-Sirjan Zone, Iran"*, Journal of Asian Earth Sciences, 43(2012) 11-12.

[29] Esna-Ashari A., Tiepolo M., Hassanzadeh, J., *"On the occurrence and implications of Jurassic primary continental boninite-like melts in the Zagros orogeny"*, Lithos, 258-259(2016" 37-57.

[30] Shahrokh S.V., *"Genetic of Kondor copper and gold mineralization in Aligudarz area, Lorestan, Iran",* 6th European congress on regional geoscientific cartography and information system, Bologna, Italy (2009)

[31] Ahmadi-Khalaji A., *"Petrology of granitoid rocks of the Boroujerd area*", Ph.D. Thesis, Tehran Univesity, Tehran, Iran, (2006) 190 p.

[32] Ahmadi-Khalaji A., Esmaeily D., Valizadeh M.V., Rahimpour-Bonab H., *"Petrology and Geochemistry of the Granitoid Complex of Boroujerd, Sanandaj-Sirjan Zone, Western Iran"*, Journal of Asian earth Sciences, 29(2007) 859-877.

[33] Masoudi F., *"Contact metamorphism and pegmatite development in the region SW of Arak, evolution; examples from NYF pegmatites of the Trebic Pluton, Moldanubian Zone, Czech Republic"*, Journal of Geosciences 58-2(2013) 113–131.

[14] Mirsepahvand F., Tahmasebi Z., Shahrokhi S.V., AhmadiKhalaji A., Khalili M., *"Geochemistry and source determination of tourmalines in Boroujerd area"*, Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy 20-2(2012) 281-292.

[15] Tahmasebi Z., *"The formation mechanism of tourmaline nodules in Boroujerd area (Dehgah-Sarsakhti)"*, Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy 22-3(2014)419-430

[16] Sepahi Garoo A.A., Salami S., Tabrizi M., *"Geochemistry of tourmalines in aplitic and pegmatitic dikes from Alvand plutonic and metamorphic rocks of the Hamedan area"*, Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy 22-3(2014)495-506.

[17] Shabani Z., *"investigation geochemical characteristics tourmaline in the Alvand area with a view of the boron of the economic geology source"*, M.Sc. Thesis, Khorramabad Branch, Islamic Azad university, Khorramabad, Iran, (2012)100p.

[18] Ahmadi Khalaji A., Tahmasbi Z., Zal F., Shabani Z., "*The behavior of major and trace elements of the tourmaline from the Mangavai and Ganjnameh pegmatitic rocks (Hamadan area)"*, Iranian Journal of Petrology 27(2016) 1-24

[19] Mirlohi A., Khalili M., *"Petrography and Geochemistry of tourmaline nodules from Aderba leucogranite (northeast of Golpaygan)"*, petrology 27(2016) 191-205

[20] Mansoori esfahani M., Khalili, M., "*Mineralogy and mineral – chemistry of tourmaline and garnet from Molataleb village granitoid (North of Aligudarz) NW of Isfahan"*, Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy, 22-1(2014) 139-148.

[21] Moradi A., Shabanian Boroujeni N., Davodian Dehkordi, A.R., *"Geochemistry of granitoid pluton in northeastern of mine Jan (province Lorestan)"*, Journal of Economic Geology, 1(2017) 191-205

[22] Bloodate E.S., Hughes G.M., Dyar M.D., Grew E.S., Guidotti C., *"Linking structure and chemistry in the schorl–dravite series"*, American Mineralogist, 84(1999) 922-928.

[DOI: 10.29252/ijcm.27.2.385] [Downloaded from ijcm.ir on 2025-03-18]

granite-pegmatite system in Swaziland", Chemical Geology, 153(1999) 125-137.

[41] London D., Manning D.A.C., *"Chemical variation and significance of tourmaline from Southwest England"*, Economic geology, 90(1995) 495-519.

[42] Harraz H. Z., El-Sharkaway M. F., *"Origin of tourmaline in the metamorphosed Sikait pelitic belt, south eastern desert, Egypt"*, Journal of African Earth Science, 33(2001) 391-416.

[43] Pesquera A., Torres-Ruiz J., Gil-Grespo P.P., Velilla N., *"Chemistry and genetic implications of tourmaline and Li-F-Cs micas from the Valdeflores area (Caceres, Spain)"*, American Mineralogist, 84(1999) 55-69.

[44] Cavarretta G., Puxeddu, M., *"Schorl-Dravite-Ferridravite Tourmalines Deposited by Hydrothermal Magmatic Fluids during Early Evolution of the Larderclio Geothermal Field, Italy"*, Economic Geology, 85(1990) 1236-1251.

[45] Weisbrod A., Polak, C. and Roy, D., *"Experimental study of tourmaline solubility in the system Na-Mg-Al-Si-B-O-H. Applications to the boron content of natural hydrothermal fluids and tourmalinization process",* Volume of Abstracts, International Symposium Experimental Mineralogy and Geochemistry, Nancy (1986).

[46] Pirajno F., Smithies R.H., *"The FeO/(FeO+ MgO) ratio of tourmaline: a useful indicator of spatial variations in granite- related hydrothermal mineral deposits",* Journal of Geochemical Explorations, 42(1992) 371-381.

Iran", Ph.D. Thesis, Leeds University, UK, (1997) 135 p.

[34] Masoudi F., Yardley B.W.D., Cliff, R.A., *"Rb-Sr geochronology of pegmatites, plutonic rocks and a hornfels in the region southwest of Arak, Iran. Islamic Republic of Iran",* Journal of Sciences,13-3 (2002) 249-254.

[35] Moradi A., Shabanian Boroujeni, N., Davodian Dehkordi A.R., *"Evaluating the controls on tourmaline crystallization in the mylonitic granite-gneiss pluton in the northeastern of Jan mine(Lorestan province)"*, journal of economic geology, 8-2(2017) 343-358.

[36] Shahrokhi S.V., Zarei Sahamieh, R., *"The study of geochemistry and mineral chemistry of north Aligoudarz, Astane-E- Arak and north boroujerd granitoids, west of Iran"*, journal of the earth,8-30(2013) 175-195

[37] Delfani H., *"Mineralgy, geochemistry and economic geology of feldspar and tourmaline in Mollataleb(North of Aligoudarz-Lorestan province)"*, M.Sc. thesis, Khorramabad Branch, Islamic Azad University, Khorramabad, Iran, (2017) 126 p.

[38] Didier J., Barbarin B., *"Enclaves and granite petrology"*, Elsevier (1991) 601 p.

[39] Hawthorne F. C., Henry D. J., *"Classification of the minerals of the tourmaline group"*, European Journal of Mineralogy, 11(1999) 201-215.

[40] Trumbull R.B., Chaussidon, M., *"Chemical and boron isotopic composition of magmatic and hydrothermal tourmalines from the Sinceni*

[Downloaded from ijcm.ir on 2025-03-18]

[DOI: 10.29252/ijcm.27.2.385]